

*Hana Kozubková: Návrh protipovodňového opatření ve městské části Studénka -  
Butovice*

# **VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**HORNICKO – GEOLOGICKÁ FAKULTA  
INSTITUT ENVIROMENTÁLNÍHO INŽENÝRSTVÍ**



**Návrh protipovodňového opatření v městské části  
Studénka - Butovice**

**The proposal flood protection measures in the town part  
Studenka – Butovice**

**Diplomová práce**

Autor:

Vedoucí bakalářské práce:

Bc. Hana Kozubková

doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Hana Kozubková**

Studijní program: N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 2102T006 Technologie a hospodaření s vodou

Téma: **Návrh protipovodňového opatření v městské části Studénka-Butovice**  
**The proposal flood protection measures in the town part Studenka – Butovice**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Popis stávajícího stavu a hydrologických poměrů
3. Specifikace problémů
4. Principy řešení (legislativní, technické)
5. Posouzení možných variant řešení a rozpracování doporučené varianty řešení
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


1. VÁCLAVÍK, V. Účelové vodohospodářské nádrže, Ostrava (2007), ISBN 978-80-248-1336-3.
2. VRÁNA, K., J. BERAN. Rybníky a účelové nádrže. Skripta ČVUT, Vydavatelství ČVUT, Praha (1998).
3. BÉM, J., K. JIČÍNSKÝ. Hydraulika v příkladech. Ediční středisko ČVUT, Praha (1982).
4. HASÍK, O., DOSTÁLOVÁ, J. Vodní stavitelství. Skripta VŠB-TUO, Ediční středisko VŠB-TUO, Ostrava (2002).
5. SLAVÍKOVÁ, L. a kol. Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích, Praha, 2007, 82s., ISBN 978-80-86684-48-2

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014

  
prof. Ing. Vojtěch Dirner, CSc.  
vedoucí institutu



  
prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.  
děkan fakulty

## ***Prohlášení***

*Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem použité podklady a literaturu.*

*Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.*

*Beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB- TUO) má právo nevýdělečné, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst.3).*

*Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.*

*Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.*

*Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).*

### ***Poděkování***

*Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Vojtěchu Václavíkovi Ph.D. za odborné vedení při zpracování diplomové práce, dále za cenné rady a připomínky.*

*V Ostravě dne 24.4.2014*

*Bc. Hana Kozubková*

## **Anotace**

Zpracovaná diplomová práce se zabývá návrhem průtočného poldru ve městě Studénka - část Butovice, jako protipovodňové opatření. Činností poldru bude snížení průtočného množství na vodním toku – Butovický potok a transformace povodňových vln. Tím dojde k ochraně městské části Studénka – Butovice.

Teoretická část se věnuje popisu současného stavu, ve kterém jsou popsány hydrologické a klimatické poměry ve městě Studénka. Je zde zmíněna také historie města, další část je věnována specifikaci problémů a řešení návrhu z hlediska technologického a legislativního. Vše je spjato se samotným návrhem protipovodňového opatření.

Praktická část se zabývá samotným návrhem průtočného poldru společně s návrhem výpustného zařízení a bezpečnostního přelivu. Zpracovaný návrh je podložen výkresovou dokumentací a hydrotechnickými výpočty.

Součástí diplomové práce je taktéž výkresová dokumentace, jedná se o výkres situace, podélného profilu nádrže, podélného profilu hráze, vzorového příčného řezu hráze a vzorového příčného řezu hráze a funkčního objektu. Veškeré zpracované výkresy jsou přiloženy k diplomové práci jak v digitální, tak tištěné verzi.

**Klíčová slova:** Studénka-Butovice, protipovodňové opatření, průtočný poldr, hráz, suchá nádrž

## **Annotation**

Processed graduation thesis deals with the proposal flow polder in the town Studenka – part Butovice as flood protection measures. Polder activities will reduce the flow rate on watercourse – Butovický stream and transformation of flood waves. This will protect the town part Studenka – Butovice.

The theoretical part describes the current state, which describes the hydrological and climatic conditions in Studenka. There is also mention the town history, next part is devoted to the specification of problems and proposal solving in terms of technological and legislative. Everything is connected by the proposal flood protection measures.

The practical part deals with the proposal flow polder together with the proposal of educative equipment and security spillway. Processed proposal is supported by the drawing documentation and hydraulic calculations.

Important part of graduation thesis is also drawing documentation, this is a drawing of the situation, the longitudinal profile of the reservoir, the longitudinal profile of the dam, the model cross-section of dam and the model cross-section of dam and function object. All of the processed drawings are included in this graduation thesis in digital and printed version.

**Keywords:** Studenka-Butovice, flood protection measures, flow polder, dam, dry reservoir

## **Seznam zkratek**

DP	diplomová práce
SN	suchá nádrž
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DN	nominální průměr [mm]
ČSN	Česká státní norma
MVN	malá vodní nádrž
BP	bezpečnostní přeliv
ŽB	železobeton
PE	polyetylen
PVC	polyvinylchlorid
TNV	technická norma vodního hospodářství
ŽP	životní prostředí
ZHVM	základní vodohospodářská mapa
ČR	Česká republika
VHS	vodohospodářské stavby

## Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Popis současného stavu .....</b>	<b>2</b>
2.1. Základní údaje o městě Studénka a její historie.....	2
2.2. Hydrologické a klimatické poměry.....	4
2.3. Pedologické poměry.....	7
<b>3. Specifikace problémů .....</b>	<b>8</b>
<b>4. Principy řešení .....</b>	<b>9</b>
4.1. Legislativní principy řešení.....	9
4.2. Technické principy řešení .....	11
4.2.1. Dělení nádrží podle účelu .....	11
4.2.2. Podklady pro návrh malých vodních nádrží .....	11
4.2.3. Návrh hrází .....	13
4.3. Problematika povodní .....	22
4.3.1. Druhy povodní .....	23
4.3.2. Významné povodně v ČR .....	26
4.3.3. Problematika poldrů.....	27
<b>5. Posouzení možných variant řešení a zvolení vhodné varianty řešení s následným rozpracováním .....</b>	<b>27</b>
5.1. Varianta A .....	27
5.2. Varianta B .....	28
5.2.1. Výpočet množství vody v uzavírajícím profilu .....	28
5.2.2. Charakteristiky nádrže .....	33
5.2.3. Transformace povodňové vlny .....	34
5.2.4. Návrh hráze.....	36
5.2.5. Návrh patního drénu .....	37
5.2.6. Materiál hráze .....	37
5.2.7. Vzdušní a návodní líc .....	37
5.2.8. Bezpečnostní přeliv.....	38
5.2.9. Výpustné zařízení .....	42
<b>6. Závěr.....</b>	<b>47</b>



## **1. Úvod**

V současné době klimatické (globální oteplování) a hydrologické změny přispívají k častějším výskytům povodní. Je to problém vyskytující se nejen v České republice, ale téměř v celém světě. Ve většině případů jsou povodně v České republice vyvolané krátkodobými, avšak prudkými srážkami nebo srážkami vytrvalými. V menší míře se pak vyskytují povodně vznikající v důsledku tání sněhu. Velkým rizikem pro vznik povodní je také stále se zvyšující počet zastavěných ploch a ubývání tzv. zelených ploch. Vlivem např. likvidací trvalých lesních porostů nebo způsobů využití a obhospodařování zemědělských půd, dochází ke snížení sorpčních schopností půdy a tím k růstu povrchového odtoku, což ve velké míře přispívá ke vzniku povodňových situací.

Výše zmíněné případy lze jen částečně eliminovat, nicméně existují varianty řešení, kterými je možno zabránit mnohdy katastrofálním důsledkům povodní, kdy dochází ke ztrátám na životech obyvatel, k majetkovým škodám a také k poškození životního prostředí v přilehlých oblastech vodních toků. Jednou z možností jsou přírodě blízké protipovodňové opatření, které zahrnují např. revitalizace vodních toků s přirozenou obnovou hydrologických funkcí potoční nebo říční nivy. Výrazným prvkem je také zvýšení sorpčních schopností krajiny a zpomalení povrchového odtoku. Změny rostlinného pokryvu a zatravňování či zalesňování břehů má také své opodstatnění v tomto typu protipovodňových opatření. Další možností je, v dnešní době velmi oblíbené, budování tzv. poldrů. Poldr jako takový, má v době hrozící povodně zajistit zachycení povodňových průtoků a transformovat povodňovou vlnu. Po opadnutí povodně je poldr ve většině případů zcela vyprázdněn výpustí. Někdy se mohou vyskytovat tzv. polosuché poldry, kdy dno poldru je trvale zaplaveno a plní funkci krajinnotvornou a ekologickou ve formě tůň či mokřadu.

## **2. Popis současného stavu**

### **2.1. Základní údaje o městě Studénka a její historie**

Město Studénka se nachází v okrese Nový Jičín. Leží v rovinnaté oblasti severního vyústění moravské Brány. Město je složeno ze tří částí, a to Studénka, Butovice a Nová Horka. Studénka vznikla v roce 1959 spojením obcí Butovice a Studénka. Obec Nová Horka byla připojena ke Studénce později až v roce 1975 [1].

První zmínka o městě se datuje k 14. století. V době vzniku byly obě sídla česká, ale po období velké kolonizace v Butovicích začínají převahovat němečtí osadníci. Nejstaršími známými majiteli byli Čeněk z Tvorkova a Jan Třebíčský. Další majitelé se zde rychle střídali a v letech 1467 – 1569 patřila Studénka pánům z Fulštejna. Za zmínku určitě stojí datum 12. prosince 1900, kdy byla do firemního rejstříku zapsána společnost Studenská továrna na vagóny. Z hlediska kulturních památek můžeme ve městě najít budovy starého a nového zámku. První zmíněný byl vybudován v renesančním stylu v roce 1576 pány z Fulštejna namísto původní gotické tvrze. V polovině 18. století byl pak postaven nový zámek v barokním stylu. Barokní budova je v současné době využívána především ke kulturním účelům. Můžeme zde naléznout obřadní síň, knihovna, Vagonářské muzeum a učebna základní umělecké školy. Město se také pyšní barokním kostelem Všech svatých nacházející se v části Butovice, který je chráněnou památkou s cennými oltářními obrazy malíře J.G.Frommella z konce 18. století. Ve Studénce je to pak kostel sv. Bartoloměje v novogotickém stylu [1].

Studénka je velmi atraktivní pro sportovní vyžití obyvatelstva. Nachází se zde letní i zimní stadion, bazén, bowling, sauna, solárium a mnoho dalších. Studénku doplňuje množství turistických tras a cyklotras. Město leží v chráněné krajinné oblasti Poodří (CHKO Poodří) a v jejím okolí se nacházejí četné rybníky a louky se zbytky lužních lesů. Skrz chráněnou krajinnou oblast protéká řeka Odra, která je tvořena přirozenými meandry a tvoří tak krásný přírodní reliéf [1].

#### Geografické údaje města:

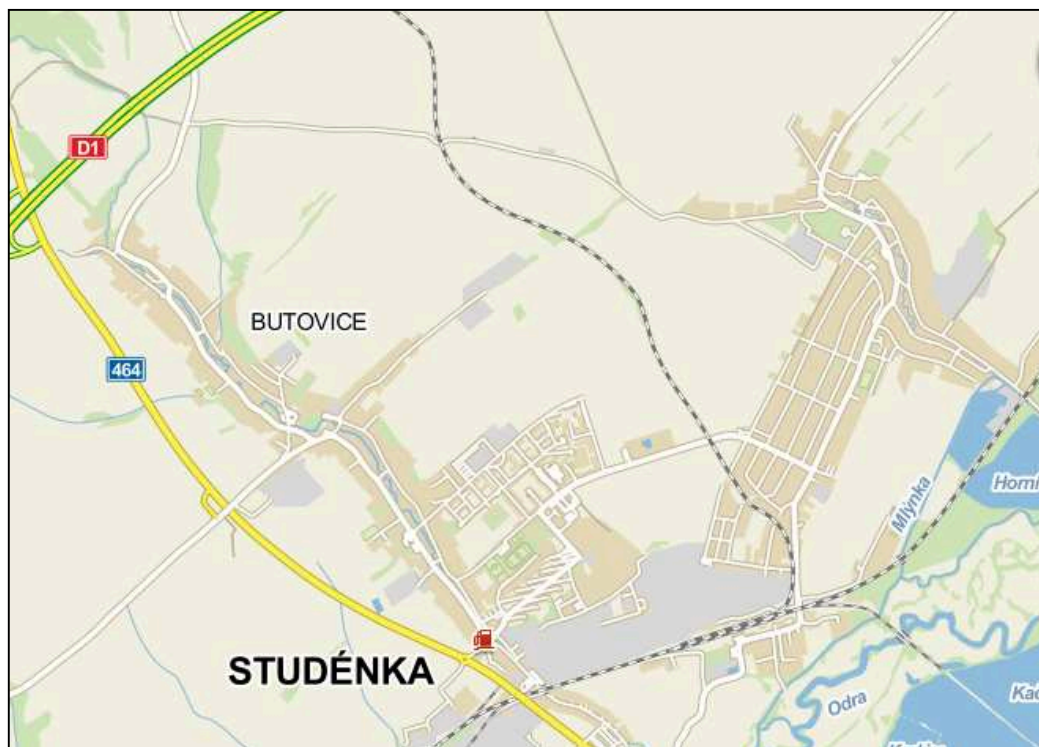
Rozloha:	30,9 km <sup>2</sup>
Zeměpisná šířka:	49°43'06"
Zeměpisná délka:	18°04'26"

*Hana Kozubková: Návrh protipovodňového opatření ve městské části Studénka - Butovice*

Nadmořská výška: 239 m n. m.

Počet obyv. (k 1.1.2012): 9 984

Katastrální území: 3 [2]



Obr. 1 Mapový výřez města Studénka [3]



Obr. 2 Výřez zájmové území na mapě [3]



Obr. 3 Butovický potok na ZVHM s možným návrhem poldru [5]



Obr. 4 Zátupová oblast navrženého poldru [17]

## 2.2. Hydrologické a klimatické poměry

Obec Studénka se nachází na levém břehu řeky Odry. Studénka tedy spadá do hlavního povodí řeky Odry. Odra napájí uměle vytvořenou vodoteč – Mlýnku (č.

hydrologického pořadí 2-01-01-159/2), dlouhou 27 km, začínající nad jezem řeky Odry, která propojuje rybniční soustavu Studénky, Jistebníku, Polanky a Svinova. Nutno podotknout, že Mlýnka při vzniklých povodních odlehčuje hlavnímu toku řeky Odry a zcela zapadá do přirozené okolní krajiny [4].

Zájmové a řešené území se vyskytuje v oblasti Butovického potoku a bezejmenných vodních toků spadajících do povodí Odry. Butovický potok protéká intravilánem Butovic a ústí do Odry, jako levostranný přítok. Potok má jeden malý přítok a dva hlavní přítoky.

Podle Quitta oblast spadá do mírně teplé klimatické oblasti MT9 a MT10. Přechodné období jara a podzimu jsou krátká a teplá. Zimní období je krátké, mírně teplé až suché s krátkým trváním sněhové pokrývky. Klimatické podmínky ovlivňují odtoky ze zájmového území. Nejnížší průtoky se zpravidla vyskytují v měsíci září/říjen. Únor/březen je charakteristický spíše odtoky smíšenými (děšť se sněhem), v letním období jsou pak nadměrné odtoky způsobené přívalovými srážkami. Maximální průtoky v korytě vodního toku, a tak i největší ohrožení povodněmi, je ovšem spojené s jarním táním sněhu [6].

**Tab. 1** Hydrologické údaje Butovického potoka [5], [6]

Hydrologické údaje - Butovický potok	
Číslo hydrologického pořadí	2-01-01-111
Délka toku [km]	6,51
Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	10,44
Srážkový úhrn ve vegetačním období [mm]	400-450
Srážkový úhrn v zimních obdobích [mm]	200-250

**Tab. 2** N-leté průtoky Q<sub>N</sub> [7]

Q <sub>N</sub>	Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	N-leté průtoky Q <sub>N</sub> [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]						
		1	2	5	10	20	50	100
Q <sub>N</sub>	1,81	0,71	1,24	2,04	2,71	3,43	4,67	5,32

Tab. 3 Intenzity dešťů při periodicitě n [8]

Doba trvání [min]	Intenzita deště při periodicitě n[l.s <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup> ]				
	1	0,5	0,2	0,1	0,05
5	198	240	297	340	387
10	146	176	215	247	278
15	117	142	176	202	237
20	97,9	120	150	173	197
30	75,2	93,1	116	134	152
40	60,6	75,0	94,8	110	125
60	44,6	55,8	70,8	82,3	93,8
90	32,3	40,7	52,1	60,7	69,4
120	25,7	32,7	41,7	48,7	55,8

### Suchá nádrž Butovice

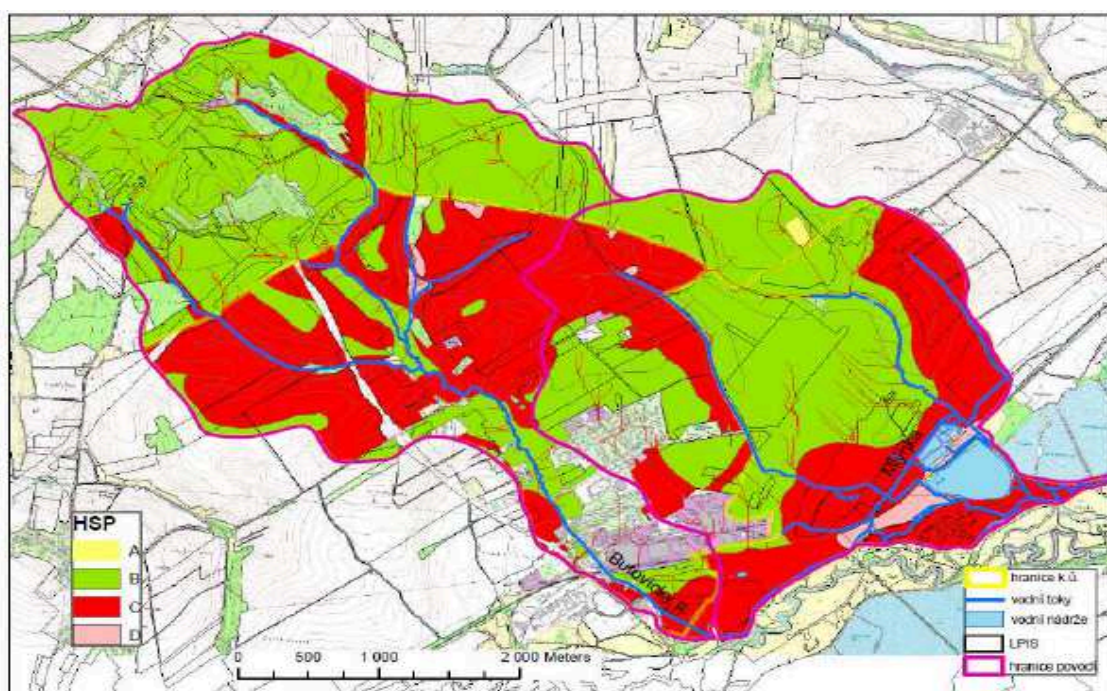
Suchá průtočná vodní nádrž Butovice se nachází na na bezejmenném levostranném přítoku Butovického potoka, která slouží k zadržení přívalových vod. Jedná se o sypanou zemní hráz délky 140 metrů, maximální výška hráze je 4,9 metrů, šířka hráze v koruně činí 3 metry. Objem nádrže je 47 149 m<sup>3</sup>. Bezpečnostní přeliv i spodní výpust o průměru DN 600, osazena na vtoku škrcením DN 300, jsou situovány při levém břehu. Na hrázi poldru je umístěna měřicí stanice výšky hladiny a vodočetná lať. Bezpečnostní přeliv SN Butovice je dostatečně kapacitní i pro převedení průtoku Q<sub>100</sub>. Porušení sypané hráze vodního díla v důsledku přelítí je tak nepravděpodobné. Je možné, že k poruše sypané hráze by došlo s největší pravděpodobností v důsledku vnitřní eroze na styku heterogenních materiálů s betonovými objekty nebo potrubím, tedy na styku násypu tělesa hráze se spodní výpustí případně s bezpečnostním přelivem. Doba trvání propagace erozního kanálu a nárůst průtoku do dosažení maxima je 60 minut, kulminační průtok činí 81 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, objem povodňové vlny činí 190 tis. m<sup>3</sup> a celková doba trvání zvláštní povodně je cca 130 minut. Při protržení hráze SN by došlo na levostranném přítoku k postupnému zaplavení prostoru vpravo od spodní výpusti. Průlomová vlna na Butovickém potoce v délce cca 2 km prochází nejprve poměrně sevřeným údolím, kde je proudění charakterizováno vysokými rychlostmi s malým transformačním účinkem [9].





**Obr. 5** Zátopová oblast SN ve Studénce – Butovicích [17]

### **2.3. Pedologické poměry**



**Obr. 6** Hydrologické skupiny půd ve Studénce [6]

Tab. 4 Charakteristiky hydrologických vlastností půd [10]

Hydrologická skupina	Charakteristiky hydrologických vlastností půd
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ( $>0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písčité nebo štěrky.
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace ( $0,06-0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace ( $0,02 - 0,06 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité.
D	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace ( $<0,02 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím.

Z mapového podkladu hydrologických skupin ve Studénce je vidět zastoupení především půd se střední rychlostí infiltrace a také půd s nízkou rychlostí infiltrace, což je z hlediska odtokových poměrů nepříznivé [6].

### 3. Specifikace problémů

Studénka, především místní část Butovice spadá do aktivní oblasti povodní, jedná se zejména o občasné povodně. Mezi největší povodeň s nejrychlejším nástupem se řadí blesková povodeň z 8.5.2013, která dosáhla průtoku  $Q_{100}$ . V současné době je velmi diskutabilní příčina bleskové povodně z května 2013. Při této povodni do koryta Butovického potoku byly sváděny vody především z dálničního přivaděče, ale také z okolních polí. Kapacita koryta Butovického potoka je v některých úsecích nedostačující pro převedení  $Q_{100}$ . Problémem je také úsek v km 1,150, zde tok prochází pod železničním mostem, kde průtočný profil je nedostatečně naddimenzován. Dochází tak k zaplavování území vlivem zpětného vzduť. Při  $Q_2$  ( $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) dochází ve spodním úseku toku k vylití z břehů.

V 0,393 km je vybudován polder, který zredukuje průtok na  $Q_{10}=2,4 \text{ m}^3/\text{s}$  a větší povodňovou vlnu je schopen zachytit v retenčním prostoru.



Jako hlavní problém a příčina povodní ve Studénce se jeví svádění srážkových vod z dálnice a dálničního přivaděče do Butovického potoka. Dalším, ale menším problémem je zaústění meliorace z pravé strany do hlavního toku v 3,531 km, kdy při větších průtocích dochází k jejímu zahlcení, a tím k zaplavení okolních nemovitostí a komunikace [7]. Povodně je možné eliminovat výstavbou průtočného poldru v blízkosti dálnice, který by byl schopen zadržet část povodňových průtoků a snížit tak množství vody v korytě Butovického potoku.

## **4. Principy řešení**

### **4.1. *Legislativní principy řešení***

#### **Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)**

Účelem tohoto zákona je chránit povrchové a podzemní vody, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod, vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha a zajistit bezpečnost vodních děl v souladu s právem Evropských společenství<sup>1)</sup>. Účelem tohoto zákona je též přispívat k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou a k ochraně vodních ekosystémů a na nich přímo záviselých suchozemských ekosystémů.

Zákon upravuje právní vztahy k povrchovým a podzemním vodám, vztahy fyzických a právnických osob k využívání povrchových a podzemních vod, jakož i vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt těchto vod přímo souvisí, a to v zájmu zajištění trvale udržitelného užívání těchto vod, bezpečnosti vodních děl a ochrany před účinky povodní a sucha. V rámci vztahů upravených tímto zákonem se bere v úvahu zásada návratnosti nákladů na vodohospodářské služby, včetně nákladů na související ochranu životního prostředí a nákladů na využívané zdroje, v souladu se zásadou, že znečišťovatel platí [11].

#### **Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)**

Tento zákon upravuje ve věcech územního plánování zejména cíle a úkoly územního plánování, soustavu orgánů územního plánování, nástroje územního plánování, vyhodnocování vlivů na udržitelný rozvoj území, rozhodování v území, možnosti sloučení postupů podle tohoto zákona s postupy posuzování vlivů záměrů na

životní prostředí, podmínky pro výstavbu, rozvoj území a pro přípravu veřejné infrastruktury, evidenci územně plánovací činnosti a kvalifikační požadavky pro územně plánovací činnost.

Tento zákon upravuje ve věcech stavebního řádu zejména povolování staveb a jejich změn, terénních úprav a zařízení, užívání a odstraňování staveb, dohled a zvláštní pravomoci stavebních úřadů, postavení a oprávnění autorizovaných inspektorů, soustavu stavebních úřadů, povinnosti a odpovědnost osob při přípravě a provádění staveb.

Tento zákon dále upravuje podmínky pro projektovou činnost a provádění staveb, obecné požadavky na výstavbu, účely vyvlastnění, vstupy na pozemky a do staveb, ochranu veřejných zájmů a některé další věci související s předmětem této právní úpravy [12].

### **ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže**

Tato norma platí pro navrhování, výstavbu, rekonstrukce a provoz vodních nádrží se sypanými hrázemi, u kterých jsou splněny současně tyto podmínky:

- a) objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru (normální hladinu) není větší než 2 mil. m<sup>3</sup>;
- b) největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m.

Norma neplatí pro nádrže přečerpávacích vodních elektráren, pro odkaliště a pro nádrže s přítokem a odtokem propustným horninovým prostředím dna a svahů nádrže (např. šterkoviště).

Norma se doporučuje i pro rekonstrukce historických rybníků, jejichž parametry překračují podmínky a) a b).

Pro nádrže s celkovým objemem menším než 5 tisíc m<sup>3</sup> se doporučuje normu použít přiměřeně podle místních podmínek [13].

### **Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny**

Účelem zákona je za účasti příslušných krajů, obcí, vlastníků a správců pozemků přispět k udržení a obnově přírodní rovnováhy v krajině, k ochraně rozmanitostí forem života, přírodních hodnot a krás, k šetrnému hospodaření s přírodními zdroji a vytvořit v souladu s právem Evropských společenství (c) v České republice soustavu Natura 2000. Přitom je nutno zohlednit hospodářské, sociální a kulturní potřeby obyvatel a regionální a místní poměry [14].

## **4.2. Technické principy řešení**

### **4.2.1. Dělení nádrží podle účelu**

V současné době se vodní nádrže navrhují jako víceúčelové. Při návrhu nádrže bychom měli brát v úvahu zlepšení vodohospodářských poměrů jako zpomalení odtoku vody ze srážek, zadržování vody v krajinách či vyrovnání průtoku v průběhu roku. Nádrž má také vždy přispívat ke zlepšení ŽP.

- Zásobní nádrže – vodárenské, průmyslové, závlahové, energetické, kompenzační, zálohové, retardační;
- Ochranné nádrže – poldry, protieroční, dešťové, vsakovací, nárazové;
- Rybochovné nádrže – výtěrové, třecí, plůdkové výtažníky, výtažníky, komorové, hlavní, speciální komory, karanténní, sádky;
- Speciální účelové nádrže – přečerpávací, recirkulační, vyrovnávací, splavovací, závlahové vodojemy;
- Hospodářské nádrže;
- Nádrže upravující vlastnosti vody – chladicí, usazovací, předehřívací, aerobní biologické, anaerobní biologické, dočišťovací;
- Rekreační nádrže – přírodní koupaliště, provozování vodních sportů;
- Asanační nádrže – záchytné, otevřeně vyhnívající, rekultivační, laguny, skladovací;
- Nádrže na ochranu bioty – ochrana flóry a fauny;
- Nádrže krajínotvorné a v obytné zástavbě – hydromeliorační, okrasné, umělé mokřady, návesní rybníčky [15].

### **4.2.2. Podklady pro návrh malých vodních nádrží**

#### **Hydrologické podklady**

Hydrologické údaje poskytuje ČHMÚ a měly by obsahovat platné parametry teoretické návrhové kontrolní povodňové vlny, N-leté, m-denní průtoky, průměrný roční srážkový úhrn, záznamy o historických povodních. Součástí těchto podkladů jsou také údaje o pravděpodobném rozložení výskytu povodní v jednotlivých ročních obdobích [16].

### **Klimatické podklady**

Součástí klimatických podkladů jsou dlouhodobé měsíční srážky, dlouhodobý srážkový průměr za vegetační období, dlouhodobé průměrné měsíční teploty, průměrné roční teploty, průměrný počet letních, mrazových a ledových dnů, povětrnostní podmínky. Údaje poskytuje ČHMÚ [16].

### **Geomorfologické podklady**

Na geomorfologických údajích závisí správná volba umístění nádrže. Posuzuje se podle několika profilů v daném terénu. Za nejvhodnější terén umístění nádrže se považuje mírně zvlněný s širokými údolími o podélném sklonu 1%, někdy výjimečně až do 3% [20].

### **Hydropedologické, hydrogeologické a geologické podklady**

Na základě pedologických a geologických poměrů se rozhoduje o stavebně-technickém uspořádání nádrže. Údaje o původu, vlastnostech a povaze hornin, které budou tvořit podloží pro zemní hráz a podloží funkčních objektů, nám poskytují geologické podklady. Poskytují také informace o podložních horizontech budoucího dna nádrže a o údolních svazích.

Podrobný hydrogeologický průzkum je nezbytný pro projekční práce. Objasňuje inženýrsko - geologické poměry v místě hráze, zátopě nádrže a přilehlém území. Dále podává informace o hydrologických poměrech v daném území, zároveň objasňuje důsledky naplnění nádrže vodou na režim podzemních vod a na kvalitu vody v toku. Dále přináší zprávy o inženýrsko-geologických poměrech nalezišť zemin, které jsou vhodné pro stavbu sypané hráze a pro otevření zemníku.

Hydropedologický průzkum přináší informace o propustnosti, úrovni hladiny podzemních vod či odvodnitelnosti rybníčního dna. Věnuje se také fyzikálním vlastnostem půd především pórovitosti, objemové a měrné hmotnosti, indexovým vlastnostem (mez tekutosti, index plasticity), maximální kapilární kapacitě nebo smykové pevnosti [20].

### **Geodetické podklady**

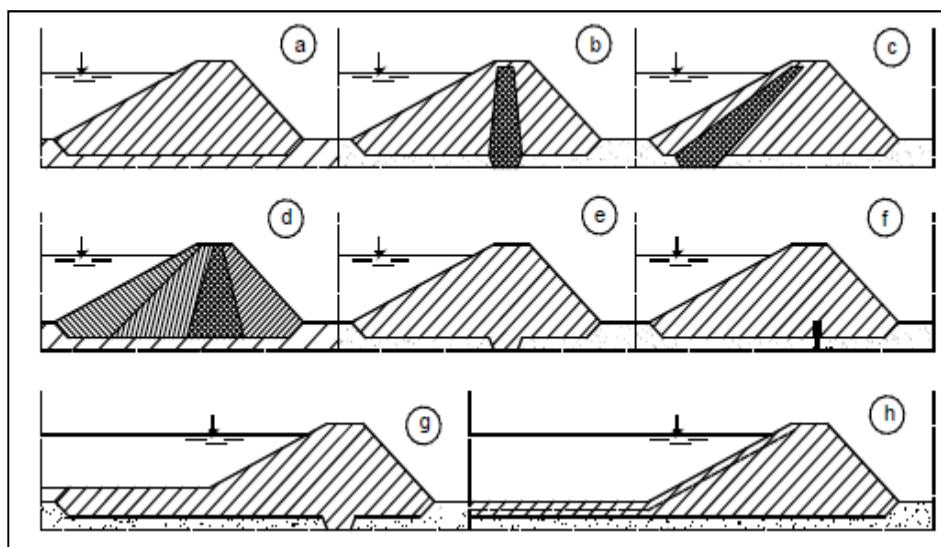
Slouží k vlastnímu technickému řešení, vystavení stavebních výkresů, výběru vhodného profilu umístění hráze a k zakreslování průzkumů. Mapové podklady se využívají v různých měřítcích 1:5 000 až 1:50 000. Pro účely zákresu geologických

sond nebo pro konstrukci charakteristických křivek se využívají mapy v měřítku 1:5 000. Pro účely hydrologického šetření se používají pak mapy v měřítku 1:25 000 nebo 1:10 000. Mapy území hráze, zátopy a blízkého okolí jsou využity v měřítku 1:1000 až 1:500 [20].

#### 4.2.3. Návrh hrází

Hráz je nejdůležitějším a také nejdražším základním stavebním prvkem při realizaci vodní nádrže. Je nezbytně nutné k návrhu osy, příčného profilu a k výběru vhodného materiálu přistupovat co nejdůkladněji.

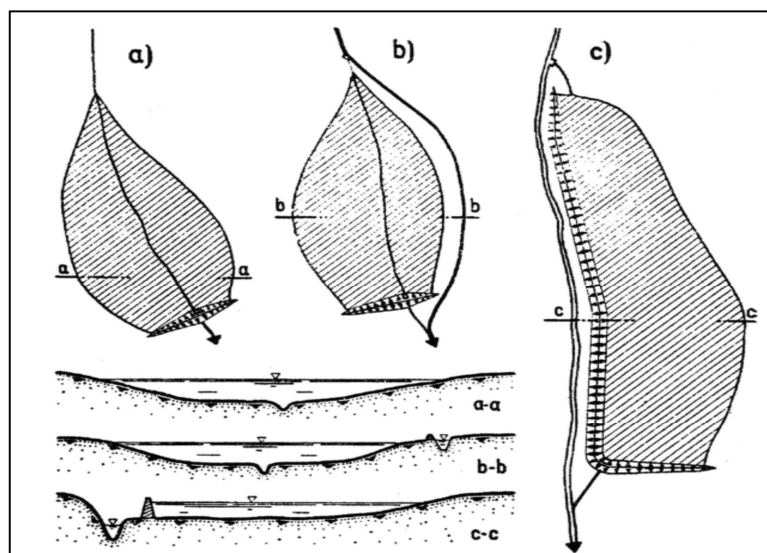
Hráze malých vodních nádrží se navrhují a budují ze zemních materiálů. Hráz může být homogenní a nehomogenní podle způsobu uložení zeminy v hrázovém profilu. Homogenní hráz se skládá pouze z jednoho typu zeminy, zatímco nehomogenní hráz může obsahovat dvě či více druhů zemin. Zeminy u nehomogenní hráze se do tělesa hráze ukládají odděleně. V příčném profilu má hráz tvar lichoběžníku [18].



**Obr. 7** Příčné profily malých zemních hrází a) jednoduchá homogenní hráz, b) hráz s vnitřním těsnícím jádrem, c) hráz s návodní těsnící clonou, d) hráz z různých materiálů, e) homogenní hráz s těsnícím prvkem, f) homogenní hráz s těsnící štětovicovou stěnou, g) homogenní hráz s návodním těsnícím kobercem, h) homogenní hráz s těsnící membránou z PVC [18]

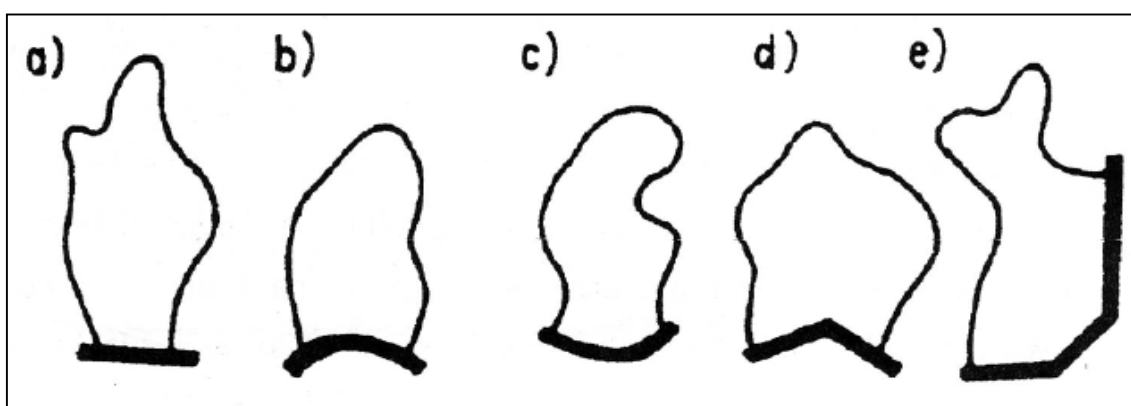
##### 4.2.3.1. Funkční dělení hrází

Hráze vodních nádrží na základě tvaru údolí, účelu a funkce nádrže dělíme na čelní, boční, obvodové a dělící. Dělící hráz rozděluje jedno vodní těleso na více částí. Nádrže lze také rozdělit dle přívodu vody, a to na přímé, obtokové a boční [19].



Obr. 8 Dělení hráze podle přívodu vody a) přímé, b) obtokové, c) boční [19]

Podle půdorysného uspořádání pak rozlišujeme hráze čelní přímé, čelní vypouklé, čelní vyduté, čelní lomené a nepravidelné [18], [20].

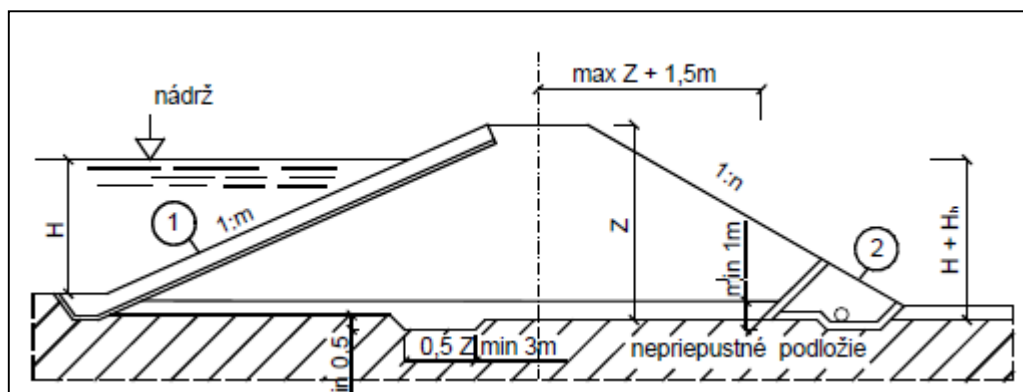


Obr. 9 Půdorysné tvary nádrží a) čelní přímá, b) čelní vypuklá, c) čelní vydutá, d) čelní lomené, e) nepravidelné [19]

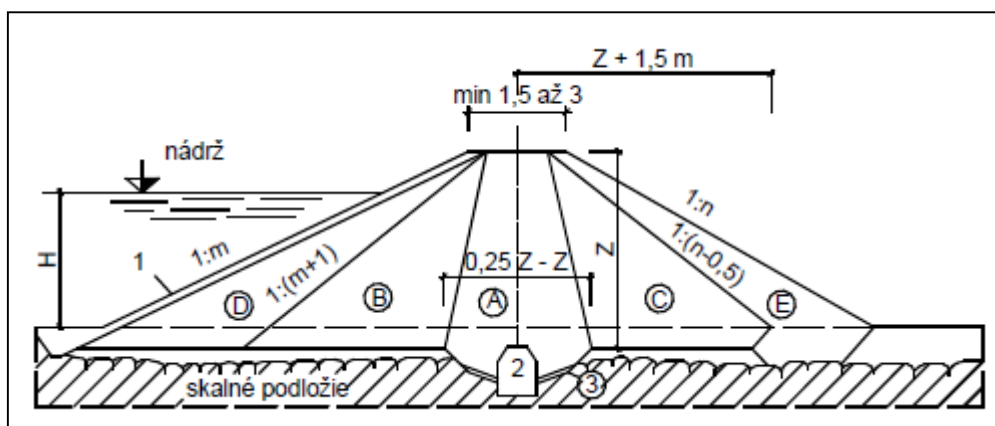
U nádrží s čelní hrází je nižší spotřeba materiálu na stavbu hráze vzhledem k malé délce hráze. Tento fakt je výhodný z ekonomického hlediska pro své nízké náklady na celou investici. Čelní hráze se potýkají také s určitými nevýhodami jako např. nutnost průchodu veškerého průtoku vody prostorem nádrže. Problém nastává při zvýšených průtocích, kdy je pro vodu charakteristická zvýšená koncentrace nerozpuštěných látek, což vede k jejich sedimentaci, a tak k zanášení prostoru nádrže. Při dlouhodobém trvání tohoto problému dochází ke snížení zásobního prostoru nádrže, vzniku eutrofizačních procesů v nádrži s následkem zhoršení kvality vod [20].

#### 4.2.3.2. Příčný profil hráze

Zemní hráze malých vodních nádrží v zásadě lichoběžníkový příčný profil. V případě vedení komunikace po koruně hráze má být šířka koruny hráze minimálně 3,5 m. Tato vzdálenost umožňuje průjezd vozidel pro provoz a údržbu hráze. U hrází, které svou výškou přesahují 5 m, by šířka koruny neměla být menší než 3 m [19].



Obr. 10 Homogenní hráz, 1) opevnění s filtrem, 2) patka s filtrem a drénem [18]



Obr. 11 Nehomogenní hráz, 1) opevnění s filtrem, 2) betonový můstek, betonová vyrovnávací vrstva [18]

Nejvyšší přehrada na světě je Nurecká přehrada ve střední Asii. Tato přehrada vedoucí přes řeku Vakhsh byla postavena v rozmezí devatenácti let (1961-1980) Sovětským svazem. Nyní přehrada patří Tadžikistánu. Tato masivní přehrada poskytuje jednak vodu a také elektřinu. Hráz je vysoká 300 m, takže se v současnosti řadí mezi přehrady s nejvyšší hrází na světě [37].



**Obr. 12** Pohled na nureckou přehradu [38]

#### **4.2.3.3. Stavební materiál hráze**

Hráze malých vodních nádrží se navrhují jako zemní. Inženýrsko-geologický průzkum určuje vhodnost materiálu pro výstavbu zemní hráze. Průzkum ukazuje fyzikálně-mechanické vlastnosti zeminy a její objemy, dále úroveň hladiny podzemní vody v zemníku, těžitelnost zeminy a způsob jejího zpracování při ukládání do hrázového tělesa[20].

Mezi základní charakteristiky materiálu pro stavbu hráze patří křivka zrnitosti, měrná/objemová hmotnost, pórovitost nebo obsah organických látek. Dále pak smyková pevnost, propustnost a stlačitelnost.



Zatřídění a vhodnost zemin pro stavbu hráze uvádí ČSN 75 2410.

**Tab. 5** Klasifikace zemin podle vhodnosti v jednotlivých částech hráze [21]

Znak skupiny	Homogenní hráz	Těsnicí část	Stabilizační část
GW (šterk dobře zrněný)	nevhodná	nevhodná	výborná
GP (šterk špatně zrněný)	nevhodná	nevhodná	výborná
G-F (šterk s příměsí jemnozrné zeminy)	málo vhodná	nevhodná	velmi vhodná
GM (šterk hlinitý)	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
GC (šterk jílovitý)	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
SW (písek dobře zrněný)	nevhodná	nevhodná	vhodná
SP (písek špatně zrněný)	nevhodná	nevhodná	vhodná
S-F (písek s příměsí jemnozrné zeminy)	nevhodná	nevhodná	vhodná
SM (písek hlinitý)	vhodná	vhodná	málo vhodná
SC (písek jílovitý)	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MG (hlína šterkovitá)	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
CG (jíl šterkovitý)	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MS (hlína písčitá)	vhodná	vhodná	nevhodná
CS (jíl písčitý)	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
ML, MI (hlína s nízkou a střední plasticitou)	málo vhodná	vhodná	nevhodná
CL, CI (jíl s nízkou a střední plasticitou)	vhodná	velmi vhodná	nevhodná
MH, ME (hlína s vysokou plasticitou)	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná
CH, CE (jíl s vysokou plasticitou)	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná

Zeminy na stavbu homogenní hráze musí být dostatečně nepropustné a konstrukčně stále. Objemové změny vznikající vlivem počasí nebo prosakující vody jsou nežádoucí a materiál hráze musí být odolný vůči těmto účinkům. Nejvhodnější jsou písčité hlíny nebo sprašové hlíny. Tyto zeminy by měly obsahovat 50-70 % písku a 50-30 % jílovitých částic, jemné zeminy vyplňují póry písku a tím je zajištěna vodotěsnost. S obsahem písku více jak 75% se průsak hrází zvyšuje. Nevhodné jsou jílovité zeminy, jelikož špatně reagují na zvlhnutí a vysychání. Zeminy by neměly obsahovat pařezy, kořeny a podobné součásti, které by tvořily preferenční cesty pro průsak vody přes hráz [18].

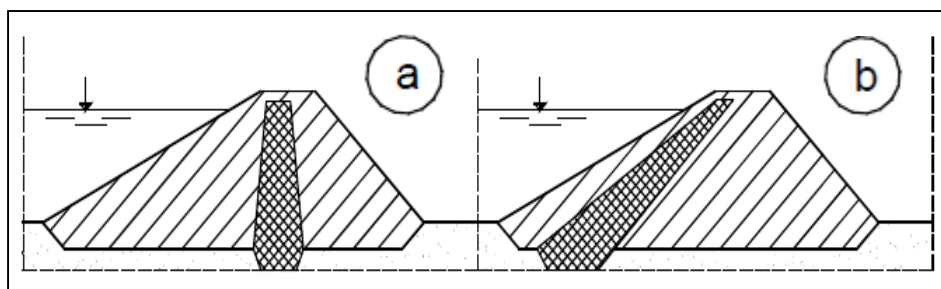
Nehomogenní hráze se skládají ze dvou nebo více různých zemin, které se do hráze ukládají odděleně. Hráz může být různě uspořádaná, ale v zásadě obsahuje těsnicí a stabilizační část. Podle umístění těsnění rozlišujeme hráze s vnitřním těsněním (viz obr. 8. část A, BA nebo BAC) a hráze s návodním těsněním (viz obr. 8 části D, DB

nebo B). Nosná část je staticky účinná, po ztuhnutí propustná a tvořená materiály, které mají velký úhel tření. Musí být také odolná vůči objemovým změnám [20].

#### 4.2.3.4. Těsnící prvek

Doporučená šířka těsnícího prvku je  $0,25 - 1,0 Z$ , kdy  $Z$  je výška hráze nad uvažovanou úrovní. V koruně hráze je šířka těsnícího prvku 1,5 m, při dostatku těsnícího materiálu se navrhuje 3 m. V případě, že spodní část těsnícího prvku tvoří zavazovací ostruha, je vhodné tuto část těsnění zavázat do neporušených vrstev nepropustných zemin (minimálně do hloubky 0,5 m). Tloušťka těsnícího koberce se navrhuje  $1/10$  hloubky vody v místě těsnění min 0,6 m. Podle umístění těsnícího prvku v tělese hráze jsou hráze s jádrovým těsněním a s těsněním návodním.

Návodní těsnící prvek se navrhuje z nepropustné nebo málo propustné zeminy nebo z materiálu jako např. asfaltobeton. Náchylné na mechanické poškození jsou těsnění z fólií (PE), je tedy nutné vytvořit dokonalý podklad, aby nedošlo k protržení fólie [18], [19], [20].



Obr. 13 Příčné profily malých zemních nádrží a) hráz s jádrovým těsněním, b) hráz s návodním těsněním [18]

#### 4.2.3.5. Filtry

Filtry jsou plošné prvky – vodorovné, svislé nebo skloněné, které chrání těleso hráze před vyplavováním částic stavebního materiálu. Mohou být jednovrstvé nebo vícevrstvé. Budují se na styku materiálu jádra a stabilizační části a na styku stabilizační části s drenážním prvkem. Konstrukčním materiálem jsou většinou přirozené zeminy (písky, štěrkopísky, štěrky), drcené kamenivo nebo umělé porézní hmoty (geotextilie). Filtry by měly být funkční při všech očekávaných deformacích hráze během stavby a provozu hráze [22].

#### **4.2.3.6. Patní drén**

Úkolem odvodňovacího systému, který je umístěn v patě vzdušného svahu je bezpečné odvedení vody, která prosákla přes hráz. Vlastní těleso patního drénu je tvořeno velmi propustným materiálem např. z makadamu a zajišťuje soustředění vody z prosáknuté hráze. Prosáknutá voda se odvádí drenážními trubkami (DN 200 mm), které jsou umístěné v tělese patního drénu a ústí do koryta pod hrází [15].

#### **4.2.3.7. Opevnění návodního a vzdušného líce**

Návodní svah se na ochranu před vlnobitím a pochodům ledům chrání opevněním. Opevnění se navrhuje od koruny hráze na hloubku 0,8 m pod úroveň hladiny normální nadržení. Návodní svah u nižších hrází se opevňuje celý až do úrovně dna nádrže. V dolní části se opevnění opírá o opěrnou patku. Opevnění by mělo být stabilní vůči působení tlaku vody nebo vůči jejím agresivním účinkům. Na opevnění návodního svahu se používá kamenná rovnanina nebo beton.

Opevnění vzdušného svahu chrání svah před erozivními účinky srážek nebo povětrnostním vlivům. Opevnění je prováděno většinou zatravněním, výsadbou keřů a stromů (hlavně v horní části pro lepší začlenění do krajiny). Dřeviny nesmí narušovat stabilitu hráze, zhoršovat její technický stav a funkci patního drénu. Využívá se hlavně dřevin s dlouhou životností [15].

#### **4.2.3.8. Výpustná zařízení**

Výpustné zařízení slouží k udržení hladiny normálního nadržení na potřebné výšce a na vyprázdnění nádrže. Je nutné, aby výpusti umožnily vypouštění vody při různých výškách hladiny v souladu s požadavky kladenými na funkci nádrže. V případě potřeby musí výpustné zařízení umožnit vyprázdnění nádrže v požadovaném čase[20].

Výpustné zařízení se obvykle umísťuje do nejnižšího místa nádrže, aby bylo možno nádrž zcela vypustit a odvodnit. U MVN se zpravidla umísťují k čelní hrázi. Každé výpustné zařízení se skládá z uzavíracího prvku a zařízení pro odvedení vody. Dle konstrukčního uspořádání lze výpusti rozdělit na otevřené (stavidlové) a uzavřené (trubní).

Otevřené výpusti se řadí mezi nejstarší a také nejjednodušší. Jsou tvořeny železobetonovými nebo kamennými žlaby, jejichž dno je umístěné v nejnižším místě

nádrže. Stěny se budují na celou výšku hráze. Stavidla, segmentové uzávěry nebo klapkové uzávěry tvoří hradící zařízení. Zpravidla se používají do výšky 4 m.

Trubními výpustmi se voda z nádrže vypouští prostřednictvím potrubí, které je zabudované do nejnižšího místa hráze. Skládá se z uzavíracího prvku, výpustního potrubí a zařízení na tlumení kinetické energie vytékající vody (rozražeč, vývar). Podle typu uzavíracího mechanismu se dělí trubní výpusti na lopatové nebo šikmé stavidlové uzávěry na návodní straně, čepové uzávěry, stavidlové uzávěry a plochá kanalizační šoupátka a požeráky [23].

#### **4.2.3.9. Bezpečnostní přelivy**

Bezpečnostní přelivy slouží k ochraně nádrží před účinky povodňových průtoků. Chrání především hráz před přelitím, poškozením a údolí pod nádrží před možnými škodami, vzniklými přelitím hráze. Výchozím podkladem pro návrh parametrů bezpečnostního přelivu je návrhový průtok  $Q_H$ , u MVN je to nejčastěji  $Q_{100}$ , a počáteční volba přepadové výšky, zpravidla 0,3-0,6 m. Bezpečnostní přelivy se skládají z přepadové části, skluzu a zařízení k tlumení kinetické energie (vývar). Přelivy se dělí na přímo, boční, šachtové, kašnové a kombinované [20], [22].

- **Přímý bezpečnostní přeliv**

Umísťuje se do čelní hráze nádrže. Přeliv je složen z konstrukce přelivné hrany, skluz nebo koryto pro odvedení vody pod hráz, zařízení pro tlumení kinetické energie přepadající vody a napojení odpadu od přelivu do koryta od výpusti. Návodní svah před bezpečnostním přepadem se zpevňuje. V případě, že je po koruně hráze vedena komunikace, je potřebné odpad od přepadu přemostit. Doplnkem přelivu může být výpustné zařízení.

- **Boční bezpečnostní přeliv**

Přeliv je situován do boku nádrže, kde přelivná hrana je kolmá na osu hráze. Přeliv tvoří vlastní přelivná hrana, spádiště, skluz, vývar a odpad od skluzu, který je napojený na koryto pod hrází.

- **Šachtový bezpečnostní přeliv**

Přeliv je složen ze šachty ve tvaru železobetonového válce, horní část válcového tělesa se rozšiřuje, koruna přelivu je zaoblená. Válcové těleso přelivu v dolní části přechází kolenem do odpadové šachty většího průměru než je vlastní šachta.

- **Kašnový bezpečnostní přeliv**

Tento typ přelivu se navrhuje v případech, kdy délka přelivné hrany je příliš dlouhá pro čelní přímý přeliv. Podstatné jsou vhodné základové poměry ve dně nádrže. Přelivná hrana kašnového přelivu je tvořena v půdorysu lomenou čarou, půlkružnicí, kombinací části kružnice a přímky nebo křivkou. Tím dojde ke zkrácení objektu přelivu ve směru do nádrže [18], [20].



**Obr. 14** Kašnový bezpečnostní přeliv SN Studénka-Butovice [17]



**Obr. 15** Kašnový bezpečnostní přeliv s vývarem a napojení na přípojně koryto [17]

### **4.3. Problematika povodní**

Od začátku devadesátých let minulého století je Česká republika společně s většinou zemí Evropy zasahována zvýšeným výskytem povodní. Na území České republiky dochází k rozlivu vody mimo koryta vodních toků při povodňových situacích s 1% pravděpodobností výskytu na celkové ploše 2 481,9 km<sup>2</sup> území v okolí vodních toků toho plocha 1 303,4 km<sup>2</sup> je nějakým způsobem chráněna na častěji se vyskytující povodně.

Dle sbírky 100/1999 – Nařízení vlády o ochraně před povodněmi je povodeň definována jako přechodné výrazné zvýšení hladiny vodního toku nebo jiných povrchových vod, při kterém hrozí vylití vody z koryta nebo voda již zaplavuje území a může způsobit škody; dále pak se jedná o stav, kdy voda z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo odtok vody je nedostatečný [24].

Základním legislativním dokumentem pro řízení ochrany před povodněmi je zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, který řeší opatření k předcházení a zamezení škod při povodních, vymezuje povodňové orgány a ostatní účastníky ochrany před povodněmi a jejich povinnosti.



V historii USA můžeme najít jednu z nejvážnější a nejsmrtelnější povodní. Povodeň se odehrála v Pensylvánii v roce 1889. Přehrada SouthFork se pod tíhou vody protrhla a do údolí poslala přes 20 milionů tun vod. Povodňová vlna měla zničující dopad na město město Johnstown a zabila více než 2200 lidí [36].



**Obr. 16** Důsledek katastrofální povodně [36]

#### **4.3.1. Druhy povodní**

##### **1) Přírodní**

*Letní povodně* jsou způsobené déletrvajícými regionálními srážkami o velké intenzitě s vysokými úhrny, projevující se výraznými důsledky na středních a větších vodních tocích. Vlivem vytrvalého deště dojde k nasycení půdy vodou. Riziko vzniku povodně vzniká při překročení hodnoty srážek 15-30 mm za 24 hodin. Vsáknutí dalších srážek do půdy je pak z větší části nemožné a vody ihned odtékají.

*Přívalové deště* jsou charakteristické pro malé prostory (často území o několika km<sup>2</sup>). Území je zasáhnuté velmi silným deštěm, což vyvolává povodně hlavně na malých vodních tocích. Mohou se vyskytovat tzv. bleskové povodně, kdy intenzita srážek je až 100 mm/h.



**Obr. 17** Důsledek bleskové povodně ve Studénce-Butovicích 2013 [40]



**Obr. 18** Zatopená oblast v Butovicích v blízkosti železniční trati [40]

Například francouzští vědci se zabývali tzv. krasovými bleskovými povodněmi vyskytující se v jižní Francii. Vzhledem k vlastnostem proudění podzemních vod v krasových terénech jsou v této souvislosti bleskové povodně velmi odlišné od povodní vyskytující se mimo krasový terén, objem podzemních vod je totiž mnohem větší. Problém je spjat se strukturou terénu a hydraulickými vlastnostmi krasových zvodní. Hlavní příčinou je pak rychlá cirkulace velkého množství infiltrované vody skrz



krasový terén. Mezi další příčiny se může zařadit např. silná interakce mezi povrchovými a podzemními vodami, kolísání hladiny podzemních vod v krasových oblastech nebo malá kapacita krasových systémů [42].

*Zimní a jarní povodně* jsou způsobené rychlým táním sněhové pokrývky. Tání sněhu bývá doprovázeno dešťovými srážkami, což vede k načítání množství odtékající vody. Voda, které dopadá na zemský povrch v podobě sněhu, je zadržována ve sněhové pokrývce a až při oblevě odtéká z území. Množství vody zadržené ve sněhové pokrývce se může lišit. Opakované odtávání a přimrzávání mění strukturu sněhových krystalů a dochází k sesedání vlivem vlastní váhy a vzniká tzv. starý sníh. Tento sníh neobsahuje téměř žádné vzduchové dutinky (má velkou hustotu). Centimetr mocná vrstva sněhu obsahuje až 4 l/m<sup>2</sup>. Tyto povodně zasahují nejčastěji podhorské vodní toky a při rozsáhlejším oteplení v kombinaci s dešti zasahují i nížinné vodní toky.

Finsko je typické pro povodně vznikající v důsledku jarního tání sněhu. Tento jev se vyskytuje hlavně v západních pobřežních oblastech, kde je několik řek bez větších jezer, které by mohly vyrovnávat odtok. Extrémní klimatické podmínky, jako jsou vlny veder nebo silné srážky, mohou tento jev posílit. I když je tento typ povodní velmi častý, poškození nebývá rozsáhlé, vzhledem k nízké hustotě obyvatelstva v dotčených oblastech [43].

*Povodně způsobené ledovými jevy* na vodních tocích v zimní období jsou způsobené ledovými nápěchy nebo zácpami. Při klesnutí teploty pod bod mrazu, začíná voda souvisle zamrzat. Krystaly ledu rostou a spojují se do větších struktur. Postupně se objevují ledové kry, které mohou uváznout v zákrutách nebo mělčinách řeky. Kry se mohou zaklínit u mostů a jezů, čímž vzniká nebezpečí městnání ledu a tvoří se barikáda bránící odtoku vody v řece. Následkem těchto jevů vystoupí řeka z břehů [26],[27].

## **2) Zvláštní povodně**

Zvláštní povodně jsou způsobené umělými vlivy. Jedná se o situace, které mohou nastat při stavbě nebo provozu vodních děl, při poruše hradících konstrukcí výpustných zařízení nebo při řešení kritických situací z hlediska bezpečnosti vodních děl. Mezi nejdůležitější charakteristiky průchodu zvláštní povodně patří rozsah území ohroženého zvláštní povodní, místní hloubky a rychlosti vody, kulminační průtoky

v jednotlivých profilech, časové charakteristiky průchodu čela, kulminace a opadnutí zvláštní povodně [25].

#### 4.3.2. Významné povodně v ČR

Červencové povodně z roku 1997 a jejich katastrofální průběh byl způsoben tím, že část území ČR tzn. území zahrnující oblast povodí Odry, severní část povodí Moravy a okrajově i povodí Labe v severních a východních Čechách zasáhly dlouhotrvající a mimořádně vydatné srážky s opakovatelností výskytu v řadě lokalit větší než 500 let. V povodí Odry po Bohumín, Moravy po Strážnici a Labe po Přelouč spadlo v rozmezí tří dnů 3651 mil. m<sup>3</sup> srážek. Srážky měly výjimečnou intenzitu a délku trvání. 5-denní úhrn srážek větší než 500 mm byl zaznamenán v 6 stanicích na území Beskyd a Jeseníku. Rychlý a prudký nástup povodňové situace byl i příčinou nepříznivého střetávání povodňových vln na soutocích řek např. Morava a Bečva. Povodí bylo ve velmi krátké době nasyceno, což vedlo k úplnému odtoku dalších srážek po povrchu území. Povodeň způsobila jednak rozsáhlé majetkové škody, ale především byly četné oběti na životech [28].

Další významnou povodní byla povodeň v Praze ze srpna 2002. Povodně byly opět způsobeny dlouhotrvajícími a vydatnými srážkami především v jižních a jihozápadních Čechách. V průběhu povodně došlo ke střetu povodňové vlny na odtoku z vltavské kaskády a povodňové vlny na Berounce. Úroveň hladiny dosáhla 785 cm a odhadovaný průtok byl 5300 m<sup>3</sup>/s [26].

Tab. 6 Přehled povodňových škod a ztrát na lidských životech [27]

Výskyt povodně/typ	Způsobené škody (mil. Kč)	Počet ztrát na lidských životech
1997 (letní)	62 600	60
1998 (přivalové, letní))	1 800	10
2000 (jarní)	3 800	2
2001 (jarní, letní)	1 000	0
2002 (letní)	75 000	16
2006 (jarní)	6 200	9
2009 (přivalové)	8 500	15
Celkem 1997-2009	159 000	112

#### **4.3.3. Problematika poldrů**

Norma TNV 75 2415 Suché nádrže je určena pro navrhování SN a posuzování jejich účinků. Norma se vztahuje na výstavbu a provoz nových i rekonstrukci stávajících SN. Platí pro SN průtočné i neprůtočné. Hlavním úkolem SN je zadržování vody při povodních a tím snižování N-letých průtoků. Zátopa je zpravidla zemědělsky nebo lesnický využívána. Z důvodu udržení trvalého vodního režimu v základové spáře hráze bývá doporučováno vytvoření stálého nadržení s nevýznamným objemem malé vodní a suché nádrže [16].

V ČR jsou spíše uplatňovány jednoúčelové suché poldry, které nemají žádné stálé nadržení vody a celý jejich objem je určen pro zachycení vody z povodní. Nejedná se o revitalizační zařízení, ale o technické VHS. Z hlediska technické bezpečnosti a využití plochy jsou ale v poslední době spíše negativně hodnoceny. Nepříznivé hodnocení je podmíněno obavami o bezpečnost hrází suchých poldrů, které jsou dlouhodobě proschlé a následně, ve velmi krátké době, musejí odolávat plnému zatížení. Problémy jsou spojeny také s využitelností jejich vnitřních ploch, které jsou poměrně obtížně zemědělsky obhospodařovatelné [29].

## **5. Posouzení možných variant řešení a zvolení vhodné varianty řešení s následným rozpracováním**

### **5.1. Varianta A**

Jako možná varianta řešení se jeví komplexní revitalizace koryta vodního toku společně s přirozenou obnovou hydrologických funkcí. Například zpomalení odtoku povodňových vod v nezastavěném území, tak aby voda dopadající při srážkách na plochu povodí se zdržovala v místě, kde nezpůsobí žádné škody. Tímto způsobem protipovodňové ochrany jsou míněna např. agrotechnická protierozní opatření typu změny rostlinného pokryvu nebo zatravňování a zalesňování břehů apod. Dále by protipovodňová ochrana spočívala v kapacitní úpravě koryta s tím spojené zrychlení odtoku v zastavěném území. Jednalo by se o rozšíření koryta a vytvoření složeného profilu koryta, kdy koryto vnitřní by převádělo stálé průtoky a k převodu povodňových průtoků by sloužila koryto vnější [39]. Vzhledem k tomu, že v blízkosti vodního toku

v zastavěném území se nachází soukromé pozemky, domy a místní komunikace, byla by tato varianta řešení komplikovaná a méně efektivní než návrh poldru.

## 5.2. Varianta B

Druhá varianta řešení se řadí mezi technická protipovodňová opatření. Jedná se o návrh průtočného poldru na vodním toku Butovický potok. Nádrž bude zajišťovat potřebnou retenční kapacitu pro zadržení povodňové vlny. Z důvodu větší efektivity jsem tuto variantu zvolila a dále rozpracovala.

### 5.2.1. Výpočet množství vody v uzavírajícím profilu

Množství vody přitékající do akumulčního prostoru nádrže v důsledku srážek je závislé jednak na intenzitě a době trvání deště a také na sklonu, druhu a rozloze terénu daného povodí.

Online mapa Hydroekologického informačního systému umožnila změření plochy povodí a sklonu terénu. Pomocí leteckých záběrů bylo možné určení druhu povrchu povodí.

Tab. 7 Součinitele odtoku pro daný typ povrchu a sklonu terénu [30]

Druh povrchu	Sklon terénu <1 %	Sklon terénu 1-5 %	Sklon terénu >5 %
Zpevněné pozemní komunikace	0,7	0,8	0,9
Travnaté plochy (pole, louky)	0,05	0,1	0,15
Lesy	0	0,05	0,1

- 1) Celková plocha povodí  $S=181$  ha se sklonem  $> 5\%$

Plocha povodí  $S$  je tvořena:

- Pole  $S_1=149,25$  ha (82,5 %)
- Lesy  $S_2= 26,15$  ha (14,4 %)
- Komunikace, zastavěné plochy  $S_3= 5,6$  ha (3,1 %)

### **Střední součinitel odtoku $\psi$**

$$\psi = \frac{S_1 \cdot \psi_1 + S_2 \cdot \psi_2 + S_3 \cdot \psi_3}{S} = \frac{149,25 \cdot 0,15 + 26,15 \cdot 0,10 + 5,6 \cdot 0,9}{181} = 0,166 \quad (1)$$

kde  $\psi$  střední součinitel odtoku;  
 $\psi_n$  součinitel odtoku;  
 $S_n$  dílčí plocha povodí [ $m^2$ ];  
 $S$  celková plocha povodí [ $m^2$ ].

### **Redukovaná plocha $S_c$**

$$S_c = S \cdot \psi = 181 \cdot 0,166 = 30,05 \text{ ha} \quad (2)$$

kde  $S_c$  redukovaná plocha povodí [ha];  
 $S$  celková plocha povodí [ $m^2$ ];  
 $\Psi$  střední součinitel odtoku.

### **Průtok v závěrném profilu $Q$**

$$Q = S_c \cdot i \cdot 10^{-3} = 30,05 \cdot 142 \cdot 10^{-3} = 4,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (3)$$

kde  $Q$  průtok v závěrném profilu [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ];  
 $S_c$  redukovaná plocha povodí [ha];  
 $i$  intenzita deště [ $l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$ ].

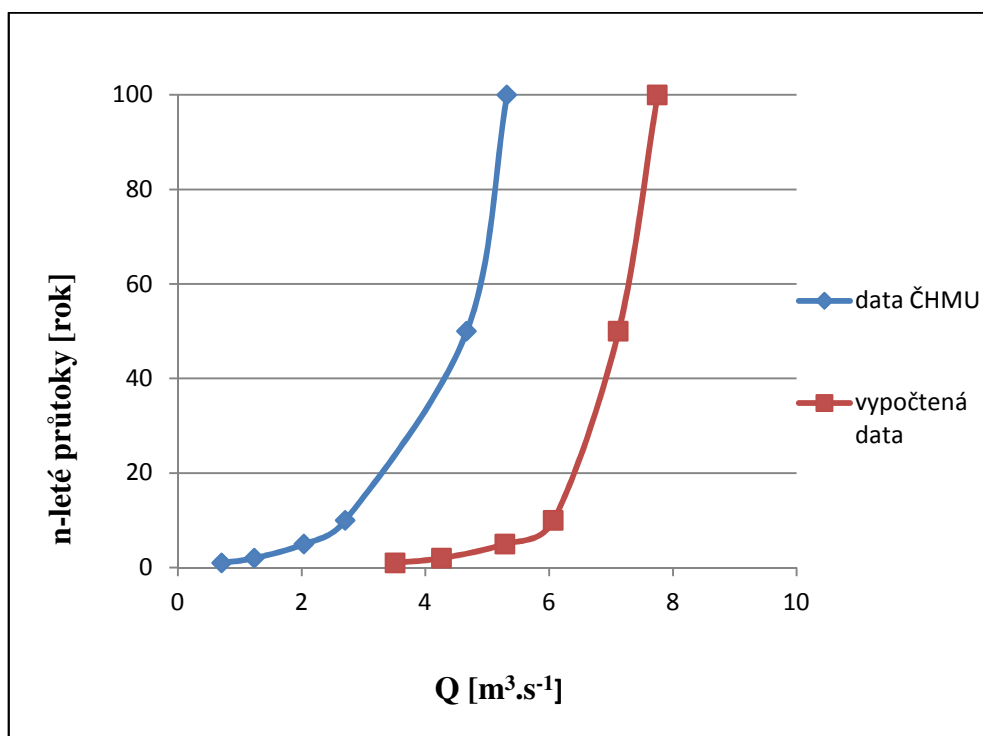
### **Objemové množství srážek $V$**

$$V = t \cdot i \cdot S_c \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 15 \cdot 142 \cdot 30,05 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 3840,4 \text{ m}^3 \quad (4)$$

kde  $V$  objem uvažovaného typu srážek [ $m^3$ ];  
 $t$  doba trvání deště [min];  
 $i$  intenzita deště při  $n = 0,5$  [ $l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$ ];  
 $S_c$  redukovaná plocha povodí [ha] [31].

Tab. 8 Objemy srážek n-letých dešťů v daném povodí

Periodicita deště	Doba trvání [min]	Intenzita deště [ $\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ ]	Redukovaná plocha $S_c[\text{m}^2]$	Dešťový průtok $Q [\text{m}^3.\text{s}^{-1}]$	Objem srážek [ $\text{m}^3$ ]
1	15	117	30,05	3,52	3164,3
0,5	15	142	30,05	4,27	3840,4
0,2	15	176	30,05	5,29	4759,9
0,1	15	202	30,05	6,07	5463,1
0,05	15	237	30,05	7,12	6409,7
0,01	15	254	30,05	7,75	6977,6



Graf 1 Srovnání hydrologických dat ČHMÚ s vypočtenými daty

Z grafu lze vyčíst, že vypočítané hodnoty průtoků za N-let jsou vyšší než data průtoků ČHMÚ. Např. vypočítaná průtoková hodnota za 100 let je zhruba o  $2,3 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  vyšší než u stoletého průtoky poskytnutého z dat ČHMÚ. Odchyly ve vypočítaných průtokových hodnotách byly zřejmě způsobeny chybami v měření. Pro další výpočty byly použity data ČHMÚ z důvodu větší přesnosti návrhu nádrže.

## Výpočet kapacity koryta Butovického potoku v nezastavěném území [32]

Parametry koryta

**b=0,45 m, m=1, h=0,13 m , n= 0,045**

kde    b        šířka dna koryta [m];  
         m        příčný sklon (1:m);  
         h        výška hladiny vody v korytě [m];  
         n        součinitel drsnosti dle Manninga.

### Průtočný průřez

$$S = (b + m \cdot h) \cdot h = (0,45 + 1 \cdot 0,13) \cdot 0,13 = 0,08 \text{ m}^2 \quad (5)$$

### Omočený obvod

$$O = b + 2 \cdot h \cdot (1 + m^2)^{0,5} = 0,45 + 2 \cdot 0,13 \cdot (1 + 1^2)^{0,5} = 0,82 \text{ m} \quad (6)$$

### Hydraulický poloměr

$$R = \frac{S}{O} = \frac{0,08}{0,82} = 0,097 \text{ m} \quad (7)$$

### Rychlostní součinitel

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,045} \cdot 0,097^{\frac{1}{6}} = 15,06 \quad (8)$$

### Sklon koryta

$$I = \frac{\Delta h}{l} = \frac{265 - 260}{300} = 0,016 \quad (9)$$

kde     $\Delta h$         výškový rozdíl na vstupu a výstupu koryta [m];

         l        délka koryta [m].

### Rychlostní proudění

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot I} = 15,06 \cdot \sqrt{0,097 \cdot 0,016} = 0,59 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (10)$$

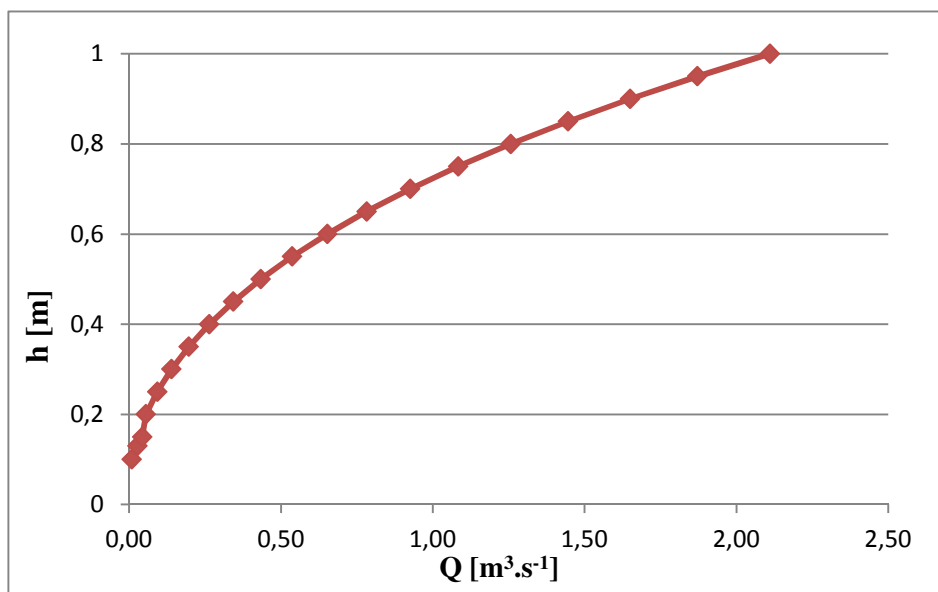
### Průtok

$$Q = S \cdot v = 0,08 \cdot 0,59 = 0,047 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (11)$$

**Tab. 9** Hodnoty průtočných rychlostí a průtoků v závislosti na výšce hladiny v korytě toku

h [m]	S [m <sup>2</sup> ]	O [m]	R [m]	C [-]	v [m.s <sup>-1</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
0,05	0,03	0,59	0,04	13,12	0,34	0,01
0,1	0,06	0,73	0,08	14,43	0,5	0,03
0,13	0,08	0,82	0,09	14,94	0,57	0,04
0,15	0,09	0,87	0,1	15,21	0,62	0,06
0,2	0,13	1,02	0,13	15,78	0,71	0,09
0,25	0,18	1,16	0,15	16,22	0,8	0,14
0,3	0,23	1,3	0,17	16,59	0,87	0,2
0,35	0,28	1,44	0,19	16,91	0,94	0,26
0,4	0,34	1,58	0,22	17,2	1,01	0,34
0,45	0,41	1,72	0,24	17,46	1,07	0,43
0,5	0,48	1,86	0,25	17,69	1,13	0,54
0,55	0,55	2,01	0,27	17,91	1,19	0,65
0,6	0,63	2,15	0,29	18,11	1,24	0,78
0,65	0,72	2,29	0,31	18,31	1,29	0,93
0,7	0,81	2,43	0,33	18,49	1,35	1,08
0,75	0,9	2,57	0,35	18,66	1,4	1,26
0,8	1	2,71	0,37	18,82	1,45	1,45
0,85	1,11	2,85	0,39	18,97	1,49	1,65
0,9	1,22	3	0,41	19,12	1,54	1,87

Při srovnání n-letých průtoků s výsledky průtoků korytem při různých hloubkách je patrné, že koryto je schopné převést 2-letou vodu při maximální výšce hladiny 0,9 m



**Graf 2** Konzumní křivka průtoků ve vodním toku v závislosti na různé výšce hladiny v korytě



### 5.2.2. Charakteristiky nádrže

Batigrafické křivky vyjadřují tvar a velikost topografického útvaru tvořeného hrází, boky a dnem nádrže. První z nich charakterizuje závislost zatopené plochy na hloubce nadržení vody  $S=f(h)$ . Druhá křivka vyjadřuje závislost objemu vody v nádrži na hloubce  $V=f(h)$  [15].

#### Objem nádrže

Ze situace byl vypočten objem nádrže pomocí zaměření ploch odpovídajících jednotlivým vrstevnicím. Pomocí výpočtu (viz. níže) byly vypočítány dílčí objemy. Součtem dílčích objemů lze dále získat celkový objem nádrže [15].

$$V_i = 0,5 \cdot (S_i + S_{i+1}) \cdot \Delta h \quad (12)$$

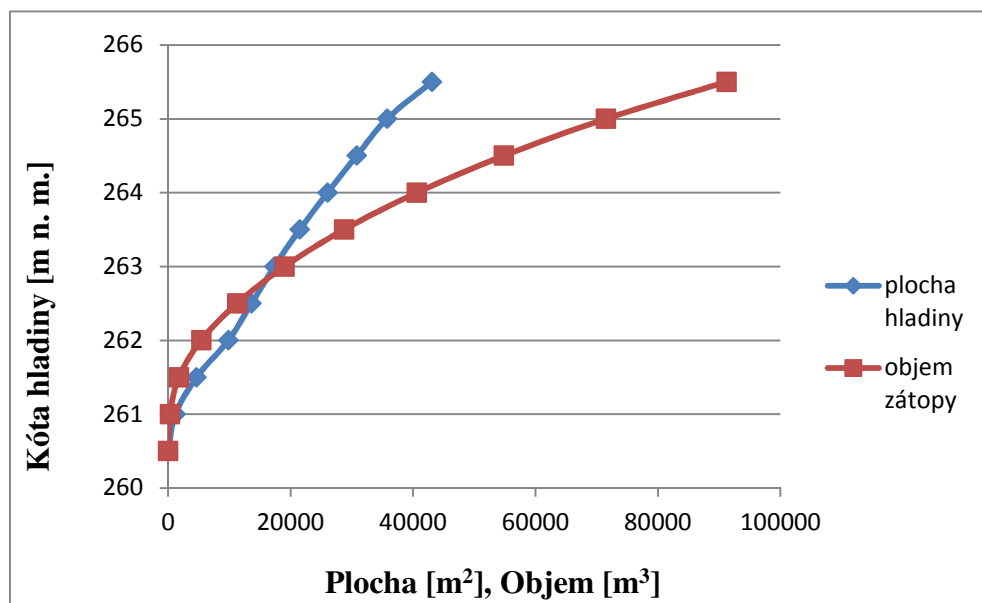
kde  $V_i$  dílčí objem mezi dvěma sousedními vrstevnicemi [ $m^3$ ];

$S_i, S_{i+1}$  plochy omezené vrstevnicemi  $i$  a  $i+1$  [ $m^2$ ];

$\Delta h$  výškový rozdíl mezi vrstevnicemi o kótách  $i$  a  $i+1$  [ $m$ ] [15].

Tab. 10 Hodnoty objemu nádrže

kóta hladiny [m n. m.]	$\Delta h$ [m]	plocha [ $m^2$ ]	$0,5 \cdot (S_i + S_{i+1})$ [ $m^2$ ]	$V_i$ [ $m^3$ ]	$\sum V$ [ $m^3$ ]
260,5	0	0	0	0	0
261	0,5	1221,38	610,69	305	305
261,5	0,5	4644,87	2933,13	1467	1772
262	0,5	9832,42	7238,65	3619	5391
262,5	0,5	13618,6	11725,5	5863	11254
263	0,5	17367	15492,8	7746	19000
263,5	0,5	21498,6	19432,8	9716	28717
264	0,5	26046,8	23772,7	11886	40603
264,5	0,5	30798	28422,4	14211	54814
265	0,5	35761,9	33279,9	16640	71454
265,5	0,5	43083,6	39422,8	19711	91166



Graf 3 Batigrafické křivky

### 5.2.3. Transformace povodňové vlny

Pro účinné převedení povodňové vlny je zapotřebí vytvořit dostatečně velký akumulací prostor nádrže. Předpokládá se, že v rovinnatějším území nastane maximální přítok do nádrže po čtyřech hodinách od začátku zvýšené intenzity srážek.

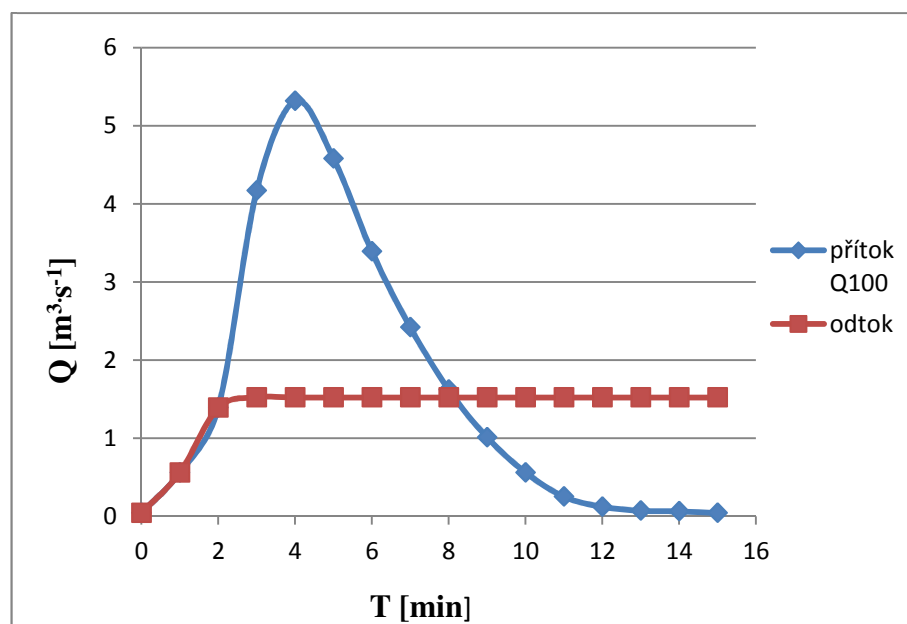
Pomocí stanovení batigrafických křivek a dle výpočtu maximálního objemu nádrže lze určit výšku hráze.

- **Čas v hodinových intervalech**
- **Přítok  $Q_{100}$**  údaje poskytnuté od ČHMÚ
- **Odtok  $Q_{kap}$**  parametr závislý na kapacitě výpustného zařízení DN 800, sklon 15 ‰  $\Rightarrow Q_{kap} = 1,521 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- **Objem vody – přítok**  $V_P = \text{přítok } Q_{100} \cdot 3600$
- **Povodňová vlna  $V_{pov}$**  načítání objemů přitékající vody a předešlých hodnot povodňové vlny
- **Objem vody – odtok**  $V_O = \text{odtok} \cdot 3600$
- **Součet odtoků  $V_{odt}$**  načítání objemů odtékající vody a předešlých odtoků
- **Velikost akumulace**  $V_a = V_{pov} - V_{odt}$

Tab. 11 Transformace povodňové vlny

T [hod]	Přítok do poldru $Q_{100}$ [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Odtok z poldru $Q_{kap}$ [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Objem vody - přítok $V_p$ [m <sup>3</sup> ]	Povodňová vlna $\sum V_p$ [m <sup>3</sup> ]	Objem odtoku $V_o$ [m <sup>3</sup> ]	Součet odtoků $\sum V_o$ [m <sup>3</sup> ]	Velikost akumulace VA [m <sup>3</sup> ]
0	0,04	0,04	144	144	144	144	0
1	0,56	0,56	2016	2160	2016	2160	0
2	1,39	1,39	5004	7164	5004	7164	0
3	4,17	1,521	15012	22176	5475,6	12640	9536
4	5,32	1,521	19152	41328	5475,6	18115	23213
5	4,58	1,521	16488	57816	5475,6	23591	34225
6	3,39	1,521	12204	70020	5475,6	29066	40954
7	2,42	1,521	8712	78732	5475,6	34542	44190
8	1,62	1,521	5832	84564	5475,6	40018	44546
9	1,01	1,521	3636	88200	5475,6	45493	42707
10	0,56	1,521	2016	90216	5475,6	50969	39247
11	0,25	1,521	900	91116	5475,6	56444	34672
12	0,12	1,521	432	91548	5475,6	61920	29628
13	0,07	1,521	252	91800	5475,6	67396	24404
14	0,06	1,521	216	92016	5475,6	72871	19145
15	0,04	1,521	144	92160	5475,6	78347	13813

Velikost retenčního prostoru byla pomocí těchto výpočtů stanovena na 44546 m<sup>3</sup>.



Graf 4 Grafické znázornění transformace povodňové vlny

#### 5.2.4. Návrh hráze

Hráz suchého průtočného poldru je navržena jako přímá homogenní zemní hráze s délkou hráze 211,29 m. Šířka koruny hráze bude 3,5 m. Návodní líc bude upraven do sklonu 1:2,5 a vzdušný líc bude upraven do sklonu 1:3. Maximální výška hráze bude 5,6m.

Tab. 12 Parametry hráze

Kóta koruny hráze	265,5 m n. m.
Délka koruny hráze	211,29 m
Šířka koruny hráze	3,5 m
Maximální výška hráze	5,6 m
Sklon návodního líce	1:2,5
Sklon vzdušního líce	1:3
Kóta maximální hladiny	265,0 m n. m.
Kóta hladiny retenčního prostoru	264,5 m n. m.



Obr. 19 Navrhovaná koruna hráze [17]

Při zakládání hráze bude nutné v prostoru nádrže upravit stávající terén. Úpravy budou spočívat ve vykácení stromů, keřů s následným odstraněním kořenů. Povrchová vrstva ornice bude sejmuta (v tl. 0,5 m) a následně použita k ohumusování povrchu tělesa hráze. Hráz bude dále oseta trávou. Zbylou část zeminy je možné rozhrnout po okolních pozemcích. Ve zhuťněné a urovnané základové spáře ve hloubce 0,5 m bude uloženo těleso hráze.

### 5.2.5. Návrh patního drénu

K odvádění prosáklé vody tělesem hráze slouží patní drén. Pro odvod vody se použije perforovaná trubka z PE jmenovité světlosti DN 200 mm, která bude umístěna v tělese patního drénu a bude ústít do koryta pod hrází. K zabránění vyplavování částic zeminy na styku drenážní trubky s tělesem hráze bude použit filtr v tl. 0,20 m ve vrstvách 50 mm- stejnozrný jemný písek, 50 mm – hrubý a střední písek a 100 mm- nestejnozrný hrubý štěrk.

### 5.2.6. Materiál hráze

Materiálem hráze bude štěrk hlinitý (GM) a písek jílovitý (SC), které jsou klasifikovány jako zeminy štěrkové a písčité. Zatřídění a vhodnost zemin pro stavbu hráze uvádí ČSN 75 2410.

Materiál zeminy bude sypán po vrstvách v tl. 0,2 m. Následně bude probíhat hutnění vrstev a to na nejméně 95 % maximální objemové hmotnosti sušiny dle standardní Proctorovy zkoušky.

Tab. 13 Půdně mechanické vlastnosti zhutněné zeminy štěrku hlinitého a písku jílovitého [13]

Název zeminy	Symbol	Obsah jemnozrné frakce (<0,06 mm) [%]	Filtrační součinitel K [m.s <sup>-1</sup> ]	Vhodnost zeminy
Štěrk hlinitý	GM	15 až 35	8.10 <sup>-5</sup> až 8.10 <sup>-10</sup>	výborná
Písek jílovitý	SC	15 až 35	1.10 <sup>-7</sup> až 1.10 <sup>-10</sup>	vhodná

Tab. 14 Vlastnosti zvolených zemin [13]

skupina	zdánlivá hustota v t.m <sup>-3</sup>		Standardní Proctorova zkouška		Objemová hmotnost suché zeminy		Smyková pevnost	
	částice < 4mm	částice 4mm	d <sub>max</sub> [t.m <sup>-3</sup> ]	W <sub>opt</sub> [%]	max. [t.m <sup>-3</sup> ]	min. [t.m <sup>-3</sup> ]	C <sub>ed</sub> [kPa]	Φ <sub>ef</sub> (°)
GM	2,73	2,43	>1,8	<20,5	2,06 až 2,16	1,7 až 1,76	5	34
SC	2,69	2,47	1,81 až 2,00	10 až 14,7	-	-	6	34

### 5.2.7. Vzdušní a návodní líc

V normě ČSN 75 2410 jsou uvedeny orientační sklony pro návodní a vzdušní svahy zemních hrází. Na tomto základě byl zvolen sklon vzdušního líce 1:3 a sklon návodního líce 1:2,5. Retenční nádrž nebude trvale zatopena, ke krátkému zatopení nádrže bude docházet pouze ve výjimečných případech, a to při povodních. Z tohoto důvodu je plně dostačující opevnění návodního svahu složené z travních porostů ve vrstvě ornice 0,2 m. Vzdušní svah bude opevněn hydroosevem o tloušťce 0,1 m. Do humusu (hl. 0,5 m) budou zasazeny keřové borovice. Bude tedy nutné dodržovat

pravidelné sečení jak návodního, tak vzdušního svahu. Porost nebude ovlivňovat stabilitu hráze, funkci drénu a nebrání případné kontrole hráze. V patě vzdušního svahu se bude nacházet betonový žlab. V patě návodního svahu bude umístěna patka z lomového kamene, která bude bránit usmyknutí hráze.

#### 5.2.8. Bezpečnostní přeliv

Bezpečnostní přeliv bude navržen jako přímý a nehrazený přeliv. Přelivná hrana bezpečnostního přelivu o celkové délce 8,28 m se bude nacházet ve výšce 265,5 m n. m. Bezpečnostní přeliv je konstruován na stoletý průtok tzn.  $Q_{100}=5,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  s tím, že hladina v nádrži nepřekročí návrhovou maximální hladinu. Při  $Q_{100}$  bude výška přepadového paprsku 0,5 m. Svahy bezpečnostního přelivu budou navrženy ve sklonu 1:5, což bude umožňovat bezproblémovou dostupnost automobilů či techniky. Materiál přelivu bude tvořen kamennou dlažbou. Odtok od přelivu bude tvořen skluzem lichoběžníkového tvaru, kdy dno a svahy skluzu budou taktéž chráněny kamennou dlažbou.

#### Výpočet délky přelivné hrany bezpečnostního přelivu [33], [15]

Ze základního vzorce pro průtok  $Q_{100}$

$$Q_{100} = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot 0,5^{\frac{3}{2}} \quad (13)$$

si vyjádříme délku přelivné hrany  $b$

$$b = \frac{Q_{100}}{\sqrt{2 \cdot g} \cdot m \cdot h^{\frac{3}{2}}} = \frac{5,32}{\sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 0,41 \cdot 0,5^{\frac{3}{2}}} = 8,28 \text{ m} \quad (14)$$

kde  $Q$  návrhový průtok  $Q_{100}=5,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$m$  součinitel přepadu[-];

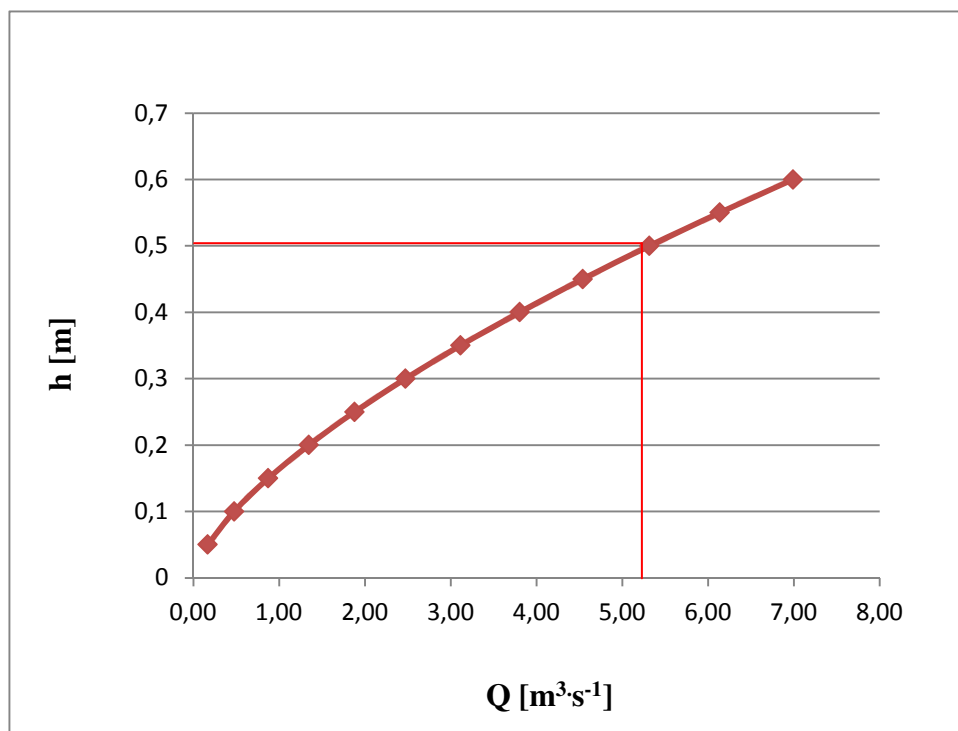
$b$  délka přelivné hrany [m];

$h$  výška přepadového paprsku [m];

$g$  gravitační zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ].

Tab. 15 Hodnoty průtoků s ohledem na velikost přepadového paprsku

$h[\text{m}]$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
$Q[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	0,17	0,48	0,87	1,34	1,88	2,47	3,11	3,8	4,54	5,32	6,13	6,99



Graf 5 Konzumní křivka přelivné hrany BP

### Výpočet kapacity koryta přelivu

Parametry koryta přelivu

**b=8,28 m, m=5, h=0,5 m, n=0,023**

- kde **b** šířka dna koryta [m];  
**m** příčný sklon (1:m);  
**h** výška hladiny vody v korytě [m];  
**n** součinitel drsnosti dle Manninga.

### Průtočný průřez

$$S = (b + m \cdot h) \cdot h = (8,28 + 5 \cdot 0,5) \cdot 0,5 = 5,39 \text{ m}^2 \quad (15)$$

### Omočený obvod

$$O = b + 2 \cdot h \cdot (1 + m^2)^{0,5} = 8,28 + 2 \cdot 0,5 \cdot (1 + 5^2)^{0,5} = 13,38 \text{ m} \quad (16)$$

### Hydraulický poloměr

$$R = \frac{S}{O} = \frac{5,39}{13,38} = 0,40 \text{ m} \quad (17)$$

### Rychlostní součinitel

$$C = \frac{1}{n} \cdot R_6^1 = \frac{1}{0,023} \cdot 0,40^{\frac{1}{6}} = 37,37 \quad (18)$$

### Sklon koryta

$$I = 1\% = 0,01$$

### Rychlostní proudění

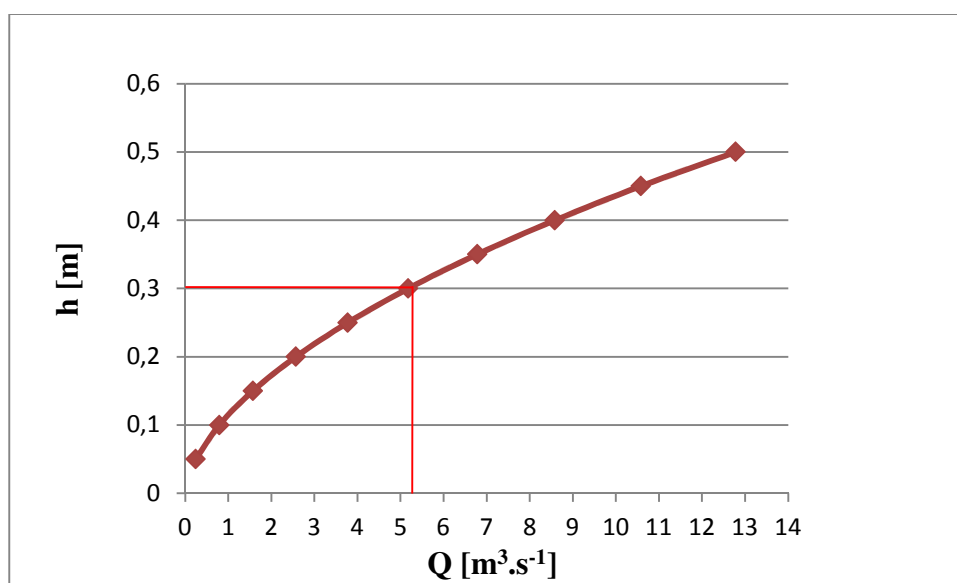
$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot I} = 37,37 \cdot \sqrt{0,40 \cdot 0,01} = 2,37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (19)$$

### Průtok

$$Q = S \cdot v = 5,39 \cdot 2,37 = 12,78 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (20)$$

Tab. 16 Průtočné rychlosti a průtoky v závislosti na výšce hladiny koryta BP

h [m]	S [m <sup>2</sup> ]	O [m]	R [m]	C [-]	v [m.s <sup>-1</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
0,05	0,43	8,79	0,05	26,26	0,58	0,25
0,1	0,88	9,30	0,09	29,34	0,90	0,79
0,15	1,35	9,81	0,14	31,26	1,16	1,57
0,2	1,86	10,32	0,18	32,67	1,39	2,57
0,25	2,38	10,83	0,22	33,78	1,58	3,78
0,3	2,93	11,34	0,26	34,71	1,77	5,18
0,35	3,51	11,85	0,30	35,50	1,93	6,78
0,4	4,11	12,36	0,33	36,19	2,09	8,58
0,45	4,74	12,87	0,37	36,81	2,23	10,58
0,5	5,39	13,38	0,40	37,37	2,37	12,78



Graf 6 Konzumní křivka průtoku korytem BP



Koryto přelivu umožňuje převod průtoku  $Q_{100} = 5,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  při výšce hladiny 0,306 m.

### Výpočet kapacity přípojného koryta BP

Odtok od přelivu bude tvořen skluzem lichoběžníkového tvaru, kdy dno a svahy skluzu budou chráněny kamennou dlažbou. Přípojně koryto bude ve sklonu 1,1% v délce 41,15 m až po zaústění do koryta od spodní výpusti. Dno bude široké 1,5 m, hloubka bude dosahovat 1,1 m a sklony svahů budou upraveny do sklonu 1:1. Optimální hodnota součinitele drsnosti pro kamennou dlažbu dle tabelárních hodnot je  $n=0,035$ .

### Parametry přípojného koryta

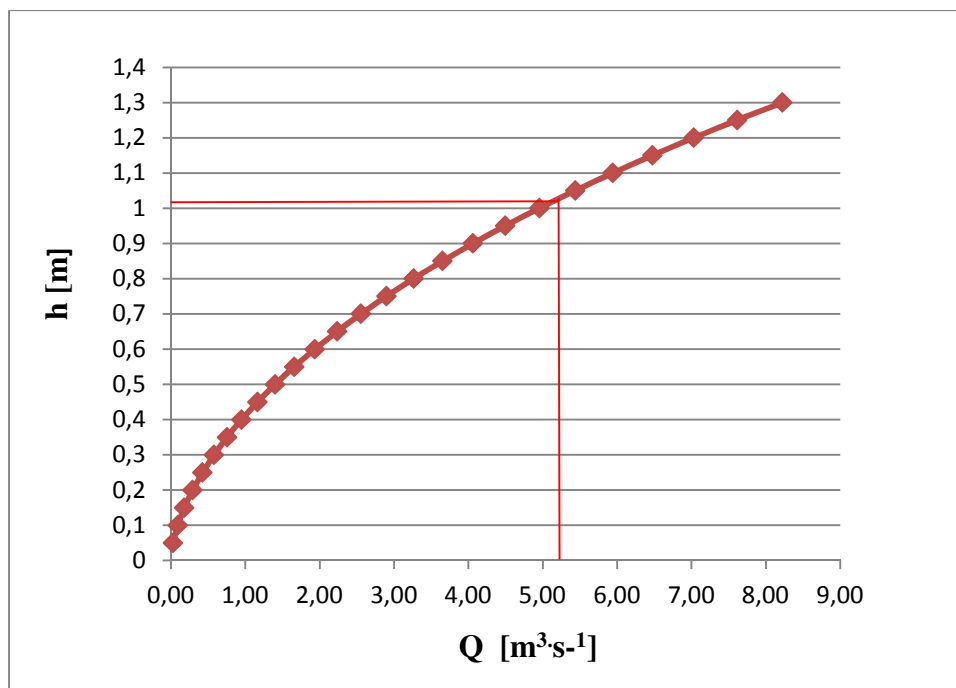
**$b=1,5 \text{ m}$ ,  $m=1$ ,  $h=1,1 \text{ m}$ ,  $n=0,035$**

**kde**    **b**      šířka dna koryta [m];  
          **m**      příčný sklon (1:m);  
          **h**      výška hladiny vody v korytě [m];  
          **n**      součinitel drsnosti dle Manninga.

*Výpočet kapacity přípojného koryta viz. výpočet výše.*

**Tab. 17** Velikost průtoků s ohledem na výšky hladiny přípojného koryta BP

<b>h [m]</b>	<b>Q [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]</b>	<b>h [m]</b>	<b>Q [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]</b>	<b>h [m]</b>	<b>Q [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]</b>
0,05	0,03	0,55	1,74	1,05	5,70
0,10	0,10	0,60	2,03	1,10	6,23
0,15	0,19	0,65	2,34		
0,20	0,31	0,70	2,68		
0,25	0,45	0,75	3,04		
0,30	0,61	0,80	3,42		
0,35	0,79	0,85	3,83		
0,40	1,00	0,90	4,26		
0,45	1,22	0,95	4,72		
0,50	1,47	1,00	5,20		



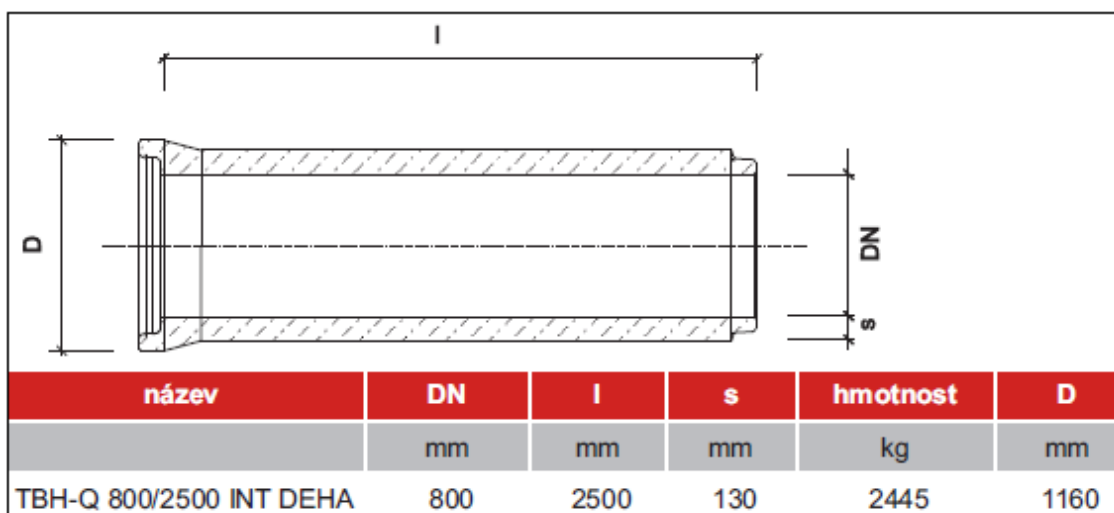
Graf 7 Konzumní křivka přípojného koryta BP

Přípojné koryto je schopné převést průtok  $Q_{100}=5,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  při výšce hladiny 1,02 m.

#### 5.2.9. Výpustné zařízení

Výpustný objekt kruhového profilu o průměru 800 mm bude umístěn v nejnižším místě nádrže z důvodu úplného vypuštění a odvodnění nádrže. Potrubí je dimenzováno na průtok  $Q = 1,521 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  se střední průtokovou rychlostí  $v = 3,025 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  při sklonu 15‰. Materiál potrubí bude beton s pryžovým těsněním. Betonové potrubí se bude ukládat na betonovou desku. Vlivem sedání hráze musí být zajištěno spojení zeminy a betonu. Z tohoto důvodu musí být potrubí po celé délce procházející hrázi obetonováno se šikmými stěnami 10:1 [34].

Potrubí bude opatřeno hlavním a nouzovým uzávěrem. Na vtoku do výpustného objektu se budou nacházet česle k zachycení větších nečistot. Hlavní uzávěr se bude nacházet na návodní straně hráze a bude tvořen vřetenovým šoupátkem z antikorozi oceli. Umístění uzávěru na návodní straně zajistí beztlaký proces v potrubí. Požerák bude sloužit jako nouzový uzávěr, je navržen jako skříňová betonová konstrukce. Sestává se z dlužové stěny, která je tvořena jednotlivými dřevěnými fošny (výšky 0,20 m) zasouvajícími se do ocelových drážek, které jsou součástí ŽB šachty. Výška ŽB šachty bude odpovídat výšce koruny hráze. Na základovou desku o tl. 0,6 m bude umístěna ŽB šachta. Pro zajištění těsnících vlastností při napojení potrubí na šachtu bude použita těsnicí pryž.



Obr. 20 Betonová trouba DN 800 a její rozměry [41]

### Výpočet pro beztlaké proudění v potrubí [35]

#### Průtočná plocha

$$S = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{0,8^2}{4} = 0,5024 \text{ m}^2 \quad (21)$$

kde S průtočná plocha [m<sup>2</sup>];  
d vnitřní průměr potrubí [m].

#### Hydraulický poloměr

$$R = \frac{S}{O} = \frac{\pi \frac{d^2}{4}}{\pi \cdot d} = \frac{3,14 \cdot \frac{0,8^2}{4}}{3,14 \cdot 0,8} = 0,2 \text{ m} \quad (22)$$

kde R hydraulický poloměr [m];  
O omočený obvod [m].

#### Rychlostní součinitel

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^P = \frac{1}{0,014} \cdot 0,2^{0,159} = 55,24 \quad (23)$$

#### Výpočet P podle Pavlovského

$$\begin{aligned} P &= 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,1) \quad (24) \\ &= 2,5 \cdot \sqrt{0,014} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{0,2} \cdot (\sqrt{0,014} - 0,1) = 0,1596 \end{aligned}$$

kde C rychlostní součinitel [m<sup>0,5</sup>·s<sup>-1</sup>];

$n$  součinitel drsnosti pro betonové potrubí.

### Střední průtoková rychlost

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot I} = 55,24 \cdot \sqrt{0,2 \cdot 0,015} = 3,025 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (25)$$

kde  $v$  střední průtoková rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ];

$I$  sklon uložení potrubí v ‰ vynásobený  $10^{-3}$ .

### Průtok při beztlakém proudění

$$Q = S \cdot v = 0,502 \cdot 3,025 = 1,518 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (26)$$

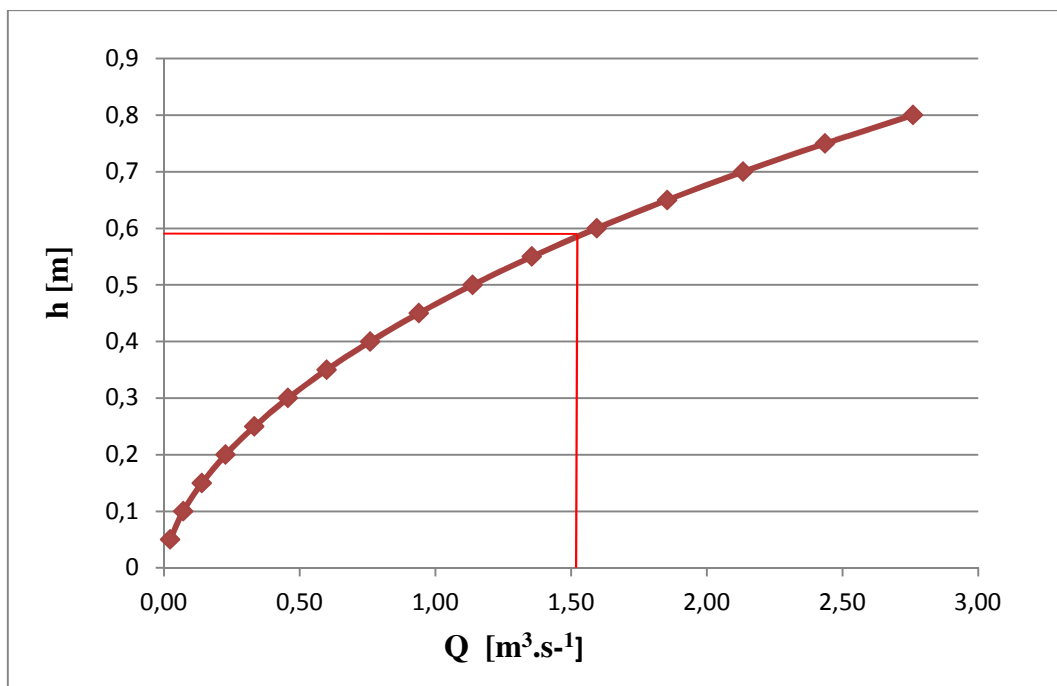
Tabelární hodnoty průtoku pro potrubí DN 800 ve sklonu  $I=15 \text{ ‰}$  je  $1,521 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Vypočtená hodnota průtoku při beztlakém proudění se nepatrně liší od této tabelární hodnoty a je rovna  $1,518 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Nesrovnalosti ve výpočtu byly zřejmě způsobeny zaokrouhlením desetinných čísel.

### Koryto od spodní výpusti

Koryto odvádějící vodu od spodní výpusti bude ve tvaru lichoběžníku se sklony svahů 1:1. Dno koryta bude široké 1 m a hloubka bude dosahovat 0,8 m. Podélný sklon koryta bude 1,34 ‰. Délka koryta od spodní výpusti po soutok s korytem BP bude 16,4 m.

**Tab. 18** Velikost průtoků v závislosti na různých výškách hladiny v korytě od spodní výpusti

$h \text{ [m]}$	$Q \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$h \text{ [m]}$	$Q \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
0,05	0,02	0,55	1,36
0,10	0,07	0,60	1,59
0,15	0,14	0,65	1,85
0,20	0,23	0,70	2,13
0,25	0,33	0,75	2,44
0,30	0,46	0,80	2,76
0,35	0,60		
0,40	0,76		
0,45	0,94		
0,50	1,14		



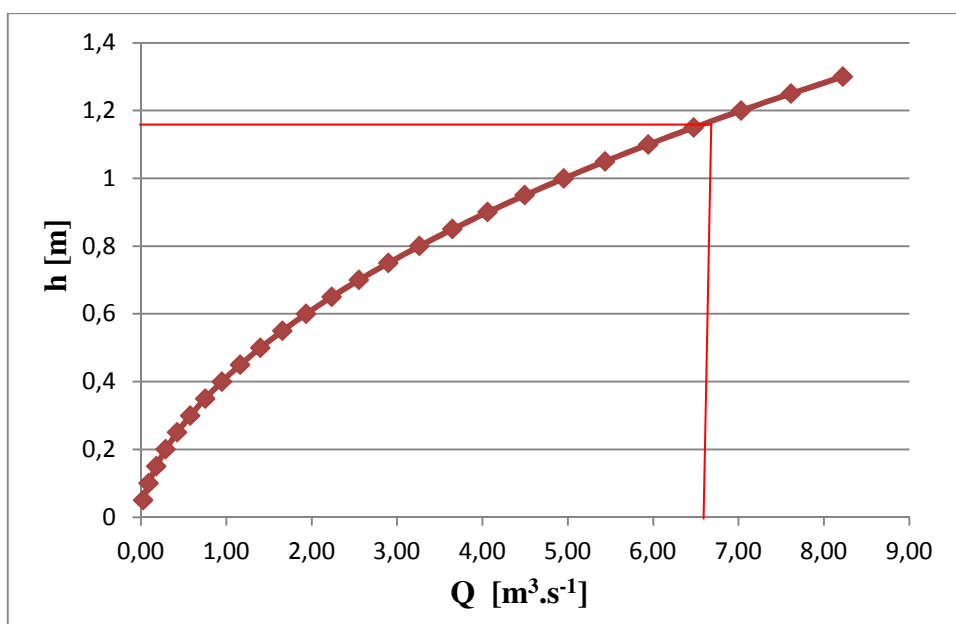
**Graf 8** Znárodnění konzumní křivky přípojného koryta od spodní výpusti

Koryto od spodní výpusti je schopné převést průtok  $1,521 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  již při výšce 0,59 m.

Aby koryto bylo schopné převést vodu odtékající ze spodní výpusti a vodu přepadávající přes BP, tak se koryto bude po soutoku s korytem BP dále prohlubovat. Koryto bude široké 1,50 m, hloubka bude dosahovat 1,3 m. Sklony svahů budou ve sklonu 1:1 a celková délka od soutoku BP s přípojným korytem od spodní výpusti po soutok s vodním tokem je 96,14 m. Koryto bude v podélném sklonu 1,1%.

**Tab. 19** Velikost průtoku v závislosti na různých výškách hladiny v korytě spodní výpusti po soutoku s BP

h [m]	Q [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	h [m]	Q [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	h [m]	Q [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
0,05	0,03	0,55	1,66	1,05	5,44
0,10	0,09	0,60	1,94	1,10	5,94
0,15	0,18	0,65	2,23	1,15	6,47
0,20	0,29	0,70	2,56	1,20	7,03
0,25	0,42	0,75	2,90	1,25	7,61
0,30	0,58	0,80	3,26	1,30	8,22
0,35	0,75	0,85	3,65		
0,40	0,95	0,90	4,06		
0,45	1,16	0,95	4,50		
0,50	1,40	1,00	4,95		



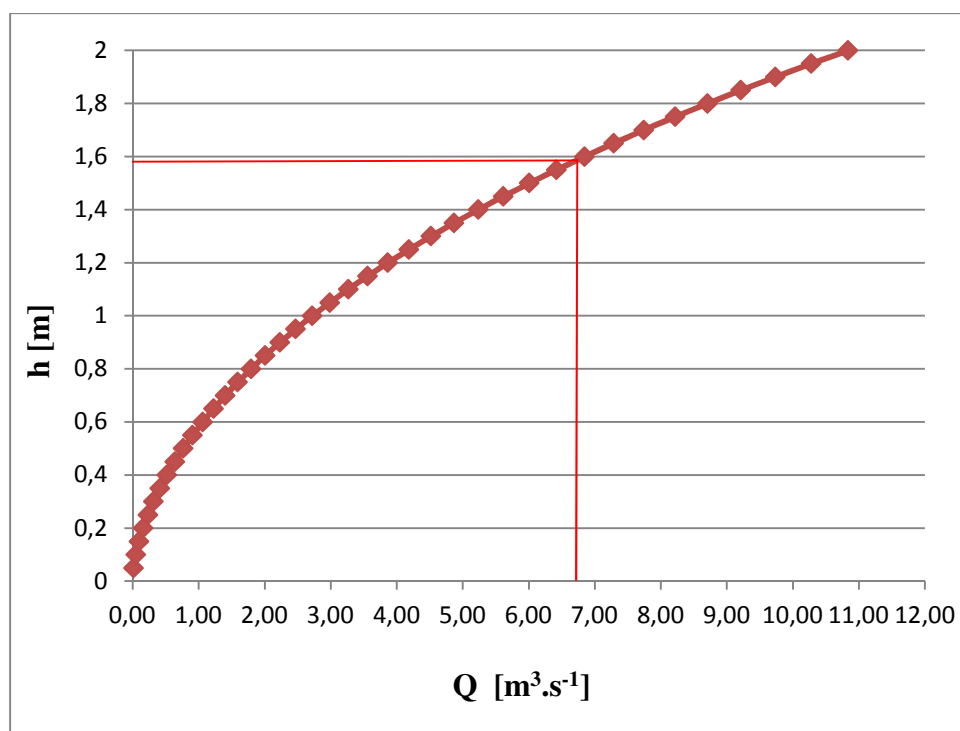
**Graf 9** Konzumní křivka přípojného koryta od soutoku s korytem BP

Koryto je schopné převést jak přepadající vodu přes BP tak odtok z výpustného zařízení ( $1,521 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} + 5,23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 6,751 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) při výšce hladiny 1,17 m.

Dále se přípojně koryto plynule napojuje na stávající koryto vodního toku. V tomto místě je koryto hluboké 2 m, šířka dna koryta je 1,5 m a svahy jsou ve sklonu 1:1. Rozměry koryta jsou dostačující pro převedení průtoku  $6,751 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Tento průtok převede koryto při výšce hladiny 1,6 m.

**Tab. 20** Velikost průtoku v závislosti na různých výškách hladiny ve stávajícím korytě

h [m]	Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	h [m]	Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	h [m]	Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	h [m]	Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
0,05	0,02	0,55	0,91	1,05	2,99	1,55	6,42
0,1	0,05	0,6	1,06	1,1	3,27	1,6	6,85
0,15	0,10	0,65	1,23	1,15	3,56	1,65	7,29
0,2	0,16	0,7	1,41	1,2	3,87	1,7	7,74
0,25	0,23	0,75	1,59	1,25	4,19	1,75	8,22
0,3	0,32	0,8	1,79	1,3	4,52	1,8	8,71
0,35	0,41	0,85	2,01	1,35	4,87	1,85	9,22
0,4	0,52	0,9	2,23	1,4	5,24	1,9	9,74
0,45	0,64	0,95	2,47	1,45	5,62	1,95	10,28
0,5	0,77	1	2,72	1,5	6,01	2	10,84



Graf 10 Konzumní křivka koryta vodního toku Butovický potok v zastavěném území

## 6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvoření konceptu protipovodňového opatření v městské části Studénka – Butovice. Byl zpracován návrh průtočného poldru na vodním toku - Butovický potok v oblasti, která je sužována převážně bleskovými povodněmi.

Pro samotný návrh byla nutná hydrologická data poskytnuté ČHMÚ společně se situačním zaměřením získané na ČÚZK.

V první části je zmíněn současný stav v zájmové oblasti, hydrologické a klimatické poměry a vytipování problémů. V další kapitole jsou popsány legislativní a technické principy řešení, které byly rovněž podkladem pro zpracování návrhu. Další část je věnována problematice povodní, jejími důsledky v rámci ČR a problematice poldrů.

Druhá část se zabývá variantami řešení konceptu s následným rozpracováním vhodnější varianty. První varianta řešení se opírá o přírodě blízká protipovodňová opatření. Druhá varianta je založena na návrhu průtočného poldru. Tato varianta je rozpracována a podložena hydrotechnickými výpočty. Byly vypočteny objemy nádrže, transformace povodňové vlny, přelivná hrana bezpečnostního přelivu, dále pak kapacita koryta bezpečnostního přelivu, kapacity přípojných koryt od bezpečnostního přelivu a

spodní výpusti, proudění v odpadním potrubí a kapacita Butovického potoka. Součástí těchto výpočtů jsou konzumční křivky. Návrh je také podložen výkresovou dokumentací. Jedná se o výkres podrobné situace (viz. příloha 1), podélného profilu hráze (viz. příloha 2), podélného profilu nádrže (viz. příloha 3), vzorový příčný řez hráze (viz. příloha 4), a příčný řez a půdorys funkčního objektu (viz. příloha 5).

Hráz je navržena jako zemní homogenní. Celková délka hráze dosahuje 211,29 m a šířka koruny hráze je 3,5 m. Kóta koruny hráze se nachází v nadmořské výšce 265,5 m. Objem retenčního prostoru nádrže je 54 814 m<sup>3</sup>. Voda bude vypouštěna betonovou trubní výpustí DN 800, která je opatřena hlavním uzávěrem (vřetenové šoupátko) a uzávěrem nouzovým (požerák opatřen dlužovou stěnou). Navržená trubní výpust je dimenzována na průtok 1,521 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Bezpečnostní přeliv je dimenzován na  $Q_{100}=5,32$  m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> a jeho délka činí 8,3 m při výšce přepadového paprsku 0,5 m.

Návrhem průtočného poldru budou eliminovány negativní účinky povodní a dojde ke zvýšené ochraně zájmové oblasti.



## Literatura:

1. *Základní údaje o městě Studénka a její historie.* [online]. [cit. 2014-1-2]. Dostupné na WWW:  
<<http://www.ic.mesto-studenka.cz/cs/o-nasem-meste/vitejte-ve-studence>>
2. *Geografické údaje.* [online]. [cit. 2014-1-2]. Dostupné na WWW:<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Studénka>>
3. *Mapový výřez města Studénka.* [online]. [cit. 2014-1-6]. Dostupné na WWW:<<http://www.mapy.cz/#!x=18.041547&y=49.718517&z=12>>
4. *Poodří.* [online]. [cit. 2014-1-6]. Dostupné na WWW:  
<<http://www.ceskatelevize.cz/porady/888008-ostrovy-zapomenuteho-klidu/49221410014-poodri/>>
5. *Vodohospodářská mapa – Butovický potok.*[online]. [cit. 2014-1-6]. Dostupné na WWW:  
<<http://heis.vuv.cz/default.asp?typ=00>>
6. DUMBROVSKÝ, M.: *Rozbor odtokových a erozních poměrů ve vybraných povodních ohrožujících zastavěné území města Studénka.* Brno. Červenec 2013.
7. *Povodňový plán města Studénka.* [online]. [cit. 2014-1-6]. Dostupné na WWW:  
<<http://www.mesto-studenka.cz/public/documents/povodnovy-plan/hydrologicke-udaje.pdf>>
8. TRUPL, J.: *Intenzity krátkodobých dešťů v povodí Labe, Odry a Moravy.* Výzkumný ústav vodohospodářský práce a studie. Praha –Podbaba. 1958.
9. *Suchá nádrž Butovice.*[online]. [cit. 2014-2-13]. Dostupné na WWW:  
<<http://www.mesto-studenka.cz/mestsky-urad/mimoradne-udalosti/novy-povodnovy-plan/4748-druh-a-rozsah-ohrozeni>>
10. JANEČEK, M. A KOL.:*Ochrana zemědělské půdy před erozí.* Česká zemědělská Univerzita Praha. Fakulta životního prostředí Praha. 2012. ISBN 978-80-87415-42-9
11. *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*
12. *Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)*
13. ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže
14. *Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny*
15. VÁCLAVÍK, V.: *Účelové vodohospodářské nádrže.* 1. vydání. Ostrava. 2007.
16. TNV 75 2415 Suché nádrže

17. KOZUBKOVÁ, H.: *Fotografie*. 2014
18. ČISTÝ, M.: *Rybníky a malé vodné nádrže II*. Slovenské technická univerzita v Bratislave. Stavebná fakulta. 2005. ISBN 80-227-2294-4
19. *Technická zařízení na vodních nádržích*. [online]. [cit. 2014-2-13]. Dostupné na WWW:  
<[http://hgfl0.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/cviceni/cviceni\\_lenticky/technicka\\_zarizeni.htm](http://hgfl0.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/cviceni/cviceni_lenticky/technicka_zarizeni.htm)>
20. VRÁNA, K., BERAN, J.: *Rybníky a účelové nádrže*. Skripta. ČVUT. 1998. ISBN 80-01-01713-3.
21. TNV 75 2410 Malé vodní nádrže
22. ŘÍHA, J., GOLÍK, P., DOLEŽAL, P., TÖRNER, V., ŽATECKÝ, S.: *Malé vodní a suché nádrže*. Technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob. Praha. 2011. ISBN 978-80-86364-16-2
23. POKORNÝ, J.: *Vodní hospodářství: Stavby v rybářství*. Skripta. Praha. 2009. ISBN 978-80-7333-071-2
24. ŠÁLEK, J., HLAVÍNEK, P., MIČÍN, J. A KOL.: *Vodní stavitelství*. VUT Brno. 2001. ISBN 80-214-2068-5
25. JANDORA, J., ŘÍHA, J.: *Stanovení území ohroženého zvláštní povodní*. [online]. [cit. 2014-2-25]. Dostupné na WWW:  
<[http://www.uur.cz/images/publikace/uur/2008/2008-02/06\\_stanoveni.pdf](http://www.uur.cz/images/publikace/uur/2008/2008-02/06_stanoveni.pdf)>
26. SLAVÍKOVÁ, L. A KOL.: *Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích*. Praha. 2007. ISBN 978-80-86684-48-2
27. *Koncepce řešení problematiky ochrany před povodněmi v České republice s využitím technických a přírodních blízkých opatření*. Praha. 2010. [online]. [cit. 2014-2-25]. Dostupné na WWW:  
<[http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fagri.cz%2Fpublic%2Fweb%2Ffile%2F100217%2FKoncepce\\_PPO\\_uv101110.\\_0799.pdf&ei=BPiMUo3YE83NswbPxICYCA&usg=AFQjCNFeiIfAZCVJPoKPCT6vvgbktXXmv6A&sig2=0\\_hsvZZTRpPMK6AVkkqiBw&bvm=bv.56643336,d.Yms](http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fagri.cz%2Fpublic%2Fweb%2Ffile%2F100217%2FKoncepce_PPO_uv101110._0799.pdf&ei=BPiMUo3YE83NswbPxICYCA&usg=AFQjCNFeiIfAZCVJPoKPCT6vvgbktXXmv6A&sig2=0_hsvZZTRpPMK6AVkkqiBw&bvm=bv.56643336,d.Yms)>
28. *Komplexní zhodnocení povodňové katastrofy v červenci 1997*. [online]. [cit. 2014-2-25]. Dostupné na WWW:  
<[http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/ffe92214f77e542cc1256fc800402f47/\\$file/komplexni.htm](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/ffe92214f77e542cc1256fc800402f47/$file/komplexni.htm)>

29. *Doporučení k projektům MVN*. [online]. [cit. 2014-3-13]. Dostupné na WWW:  
<<http://www.jarojaromer.cz/doc/malevodninadrze.pdf>>
30. ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky
31. HASÍK, O.: *Stavby vodovodů a kanalizací*. VŠB-TU Ostrava. 2009. ISBN 80-248-0078-0
32. ŠLEZINGR, M.: *Hydrotechnické stavby I. Modul 1: Návrh říčního koryta*. VUT Brno. 2005. [online]. [cit. 2014-3-14]. Dostupné na  
WWW:<<http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.viktorio.net%2Fold%2Fskola%2F1%2520UT%2520OPORA%2520%2520modul%25201%2520N%25C3%25A1vrh%2520%25C5%2599%25C3%25AD%25C4%258Dn%25C3%25ADho%2520koryta.doc&ei=Ec0YU-O4CcGF4ASOqYH4AQ&usg=AFQjCNE7qcxq9GELtIXblGp26LdNnYRchg&sig2=nomS-jMb9uMoZMt3CA0RiA>>
33. BÉM, J., JÍČÍNSKÝ, K.: *Hydraulika v příkladech*. Vydání 2. ČVUT. Praha. 1982.
34. *Rekonstrukce a revitalizace malých vodních nádrží*. [online]. [cit. 2014-3-14].  
Dostupné na WWW:  
<[http://sppfl.wz.cz/prezentace/12%20SPPFL\\_marcian.pdf](http://sppfl.wz.cz/prezentace/12%20SPPFL_marcian.pdf)>
35. HASÍK, O., DOSTÁLOVÁ, J.: *Vodní stavitelství*. VŠB-TU Ostrava, 2002, ISBN 80-248-0078-0
36. LEVY, J.: *World's worst floods*. ISBN 978-1-4042-4516-7. 2009. USA.  
[online]. [cit. 2014-3-29]. Dostupné na WWW:  
<[http://books.google.cz/books?id=iPF4iIvg6RGc&printsec=frontcover&dq=floods+in+the+world&hl=cs&sa=X&ei=NzWgUoroCMaM7Aaj\\_oCQAg&ved=0CDoQ6AEwAQ#v=onepage&q=floods%20in%20the%20world&f=false](http://books.google.cz/books?id=iPF4iIvg6RGc&printsec=frontcover&dq=floods+in+the+world&hl=cs&sa=X&ei=NzWgUoroCMaM7Aaj_oCQAg&ved=0CDoQ6AEwAQ#v=onepage&q=floods%20in%20the%20world&f=false)>
37. WEIL, A.: *The World's most amazing dams*. ISBN 978-1-4062-2753- 6. 2012.  
[online]. [cit. 2014-3-29]. Dostupné na WWW:  
<[http://books.google.cz/books?id=KZaCeON\\_gcQC&pg=PT18&dq=nurek+dam&hl=cs&sa=X&ei=Fq4qU5nxIqOI4ASrtICwCA&ved=0CF0Q6AEwBg#v=onepage&q=nurek%20dam&f=false](http://books.google.cz/books?id=KZaCeON_gcQC&pg=PT18&dq=nurek+dam&hl=cs&sa=X&ei=Fq4qU5nxIqOI4ASrtICwCA&ved=0CF0Q6AEwBg#v=onepage&q=nurek%20dam&f=false)>
38. *Nurek dam*. [online]. [cit. 2014-3-29]. Dostupné na WWW:  
<[http://www.sky-towers.ru/towers/3000/img\\_page/Nurekskaya\\_Dumb\\_3000\\_01.jpg\\_.php](http://www.sky-towers.ru/towers/3000/img_page/Nurekskaya_Dumb_3000_01.jpg_.php)>

39. *Přírodě blízká protierozní a protipovodňová opatření – možnosti jejich financování a realizace pro obce a veřejnost*. ISBN 978-80-254-6829-6. [online]. [cit. 2014-3-29]. Dostupné na WWW: <[http://www.vodavkrajine.cz/files/Zvyseni\\_protipovodnove\\_ochrany\\_PBPPO\\_1aicka.pdf](http://www.vodavkrajine.cz/files/Zvyseni_protipovodnove_ochrany_PBPPO_1aicka.pdf)>
40. *Povodně ve Studénce – Butovice*. [online]. [cit. 2014-4-7]. Dostupné na WWW: <<http://www.mesto-studenka.cz/aktualne-z-mesta/aktuality/4622-povodne-bez-vystrahy>>
41. *Betonika plus. Katalog betonových výrobků*. 2012. [online]. [cit. 2014-4-8]. Dostupné na WWW: <<http://www.transportbeton.cz/stahnout-soubor?id=910>>
42. FLEURY, P., MARÉCHAL, J.C., LADOUCHE, B.: *Karst flash-flood forecasting in the city of Nimes (southern France)*. 2013. ISSN 0013-7952. [online]. [cit. 2014-4-8]. Dostupné na WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795213002007>>
43. ROSQVIST, T., MOLARIUS, R., VIRTÁ, H., PERRELS, A.: Event tree analysis for flood protection – An exploratory study in Finland. ISSN 0951-8320. 2012. [online]. [cit. 2014-4-8]. Dostupné na WWW: <<http://80.www.sciencedirect.com/dialog.cvut.cz/science/article/pii/S0951832012002438>>

## Seznam obrázků

Obr. 1 Mapový výřez města Studénka [3] .....	3
Obr. 2 Výřez zájmové území na mapě [3] .....	3
Obr. 3 Butovický potok na ZVHM s možným návrhem poldru [5] .....	4
Obr. 4 Zátopová oblast navrženého poldru [17] .....	4
Obr. 5 Zátopová oblast SN ve Studénce – Butovicích [17].....	7
Obr. 6 Hydrologické skupiny půd ve Studénce [6] .....	7
Obr. 7 Příčné profily malých zemních hrází a) jednoduchá homogenní hráz, b) hráz s vnitřním těsnicím jádrem, c) hráz s návodní těsnicí clonou, d) hráz z různých materiálů, e) homogenní hráz s těsnicím prvkem, f) homogenní hráz s těsnicí štětovnicovou stěnou, g) homogenní hráz s návodním těsnicím kobercem, h) homogenní hráz s těsnicí membránou z PVC [18] .....	13

Obr. 8 Dělení hráze podle přívodu vody a) přímé, b) obtokové, c) boční [19] .....	14
Obr. 9 Půdorysné tvary nádrží a) čelní přímá, b) čelní vypuklá, c) čelní vydutá, d) čelní lomené, e) nepravidelné [19] .....	14
Obr. 10 Homogenní hráz, 1) opevnění s filtrem, 2) patka s filtrem a drénem [18] .....	15
Obr. 11 Nehomogenní hráz, 1) opevnění s filtrem, 2) betonový můrek, betonová vyrovnávací vrstva [18] .....	15
Obr. 12 Pohled na nureckou přehradu [38] .....	16
Obr. 13 Příčné profily malých zemních nádrží a) hráz s jádrovým těsněním, b) hráz s návodním těsněním [18] .....	18
Obr. 14 Kašnový bezpečnostní přeliv SN Studénka-Butovice [17] .....	21
Obr. 15 Kašnový bezpečnostní přeliv s vývarem a napojení na přípojné koryto [17] ...	22
Obr. 16 Důsledek katastrofální povodně [36] .....	23
Obr. 17 Důsledek bleskové povodně ve Studénce-Butovicích 2013 [40] .....	24
Obr. 18 Zatopená oblast v Butovicích v blízkosti železniční trati [40] .....	24
Obr. 19 Navrhovaná koruna hráze [17] .....	36
Obr. 20 Betonová trouba DN 800 a její rozměry [41] .....	43

## **Seznam tabulek**

Tab. 1 Hydrologické údaje Butovického potoka [5], [6] .....	5
Tab. 2 N-leté průtoky QN [7] .....	5
Tab. 3 Intenzity dešťů při periodicitě n [8] .....	6
Tab. 4 Charakteristiky hydrologických vlastností půd [10] .....	8
Tab. 5 Klasifikace zemin podle vhodnosti v jednotlivých částech hráze [21] .....	17
Tab. 6 Přehled povodňových škod a ztrát na lidských životech [27] .....	26
Tab. 7 Součinitele odtoku pro daný typ povrchu a sklonu terénu [30] .....	28
Tab. 8 Objemy srážek n-letých dešťů v daném povodí .....	30
Tab. 9 Hodnoty průtočných rychlostí a průtoků v závislosti na výšce hladiny v korytě toku .....	32
Tab. 10 Hodnoty objemu nádrže .....	33
Tab. 11 Transformace povodňové vlny .....	35
Tab. 12 Parametry hráze .....	36

Tab. 13 Půdně mechanické vlastnosti zhutněné zeminy šterku hlinitého a písku jílovitého [13] .....	37
Tab. 14 Vlastnosti zvolených zemin [13] .....	37
Tab. 15 Hodnoty průtoků s ohledem na velikost přepadového paprsku.....	38
Tab. 16 Průtočné rychlosti a průtoky v závislosti na výšce hladiny koryta BP.....	40
Tab. 17 Velikost průtoků s ohledem na výšky hladiny přípojného koryta BP .....	41
Tab. 18 Velikost průtoků v závislosti na různých výškách hladiny v korytě od spodní výpusti.....	44
Tab. 19 Velikost průtoků v závislosti na různých výškách hladiny v korytě spodní výpusti po soutoku s BP.....	45
Tab. 20 Velikost průtoků v závislosti na různých výškách hladiny ve stávajícím korytě .....	46

## **Seznam grafů**

Graf 1 Srovnání hydrologických dat ČHMÚ s vypočtenými daty .....	30
Graf 2 Konzumční křivka průtoků ve vodním toku v závislosti na různé výšce hladiny v korytě .....	32
Graf 3 Batigrafické křivky .....	34
Graf 4 Grafické znázornění transformace povodňové vlny .....	35
Graf 5 Konzumční křivka přelivné hrany BP .....	39
Graf 6 Konzumční křivka průtoků korytem BP.....	40
Graf 7 Konzumční křivka přípojného koryta BP.....	42
Graf 8 Znázornění konzumční křivky přípojného koryta od spodní výpusti.....	45
Graf 9 Konzumční křivka přípojného koryta od soutoku s korytem BP .....	46
Graf 10 Konzumční křivka koryta vodního toku Butovický potok v zastavěném území .....	47

## **Seznam příloh**

1. Podrobná situace
2. Podélný profil hráze
3. Podélný profil nádrže

4. Vzorový příčný řez hrází
5. Příčný řez a půdorys funkčního objektu